



**Ministério da Educação**  
**Universidade Federal da Integração Latino-Americana**  
**Instituto de Tecnologia, Infraestrutura e Território**  
**Centro Interdisciplinar de Tecnologia e Infraestrutura**

# **ÁGUA SUBMETIDA A CAMPO MAGNÉTICO: INFLUÊNCIA DO TEMPO DE EXPOSIÇÃO NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E TRABALHABILIDADE DE CONCRETOS E ARGAMASSAS**

BRUNA LUISA SEELENT

Foz do Iguaçu, PR

Julho de 2017



**Ministério da Educação**  
**Universidade Federal da Integração Latino-Americana**  
**Instituto de Tecnologia, Infraestrutura e Território**  
**Centro Interdisciplinar de Tecnologia e Infraestrutura**

## **ÁGUA SUBMETIDA A CAMPO MAGNÉTICO: INFLUÊNCIA DO TEMPO DE EXPOSIÇÃO NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E TRABALHABILIDADE DE CONCRETOS E ARGAMASSAS**

BRUNA LUISA SEELENT

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Banca Examinadora do Curso de Engenharia Civil de Infraestrutura da UNILA, como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Civil.

**Orientador:** Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ana Carolina P. dos Santos

**Coorientador:** Prof. Dr. Rafael Otoniel R. R. da Cunha

Foz do Iguaçu, PR

Julho de 2017

## DEDICATÓRIA

A minha mãe, minha heroína e protetora.

A minha família e amigos.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pois nada seria de mim sem a fé que tenho nEle.

A minha mãe Ilse, pois seu cuidado, dedicação e amor foi o que me deu em todos os momentos a esperança para seguir em frente e nunca desistir dos meus sonhos.

A minha avó Lidia (*in memorian*) e madrinha Lucia que com muito carinho e apoio não mediram esforços para que eu chegasse até essa etapa da minha vida.

Aos meus avós Alfredo e Leonir, tios, tias, primos e primas que mesmo distantes sempre acreditaram e confiaram em mim.

A minha orientadora, professora Ana Carolina pela paciência na orientação e incentivo que tornaram possível a conclusão desse trabalho, e ao meu coorientador professor Rafael Otoniel, pela dedicação e ajuda ao desenvolver esse trabalho.

Aos amigos que essa jornada na universidade me trouxe, meu muito obrigada, eu espero levá-los comigo sempre.

Aos meus amigos de antes, obrigada pelo apoio e por não desistirem de mim, mesmo eu estando a maioria do tempo longe de vocês.

A todos os professores do curso que foram tão importantes na minha vida acadêmica e na execução desse trabalho, em especial aos professores Aref e Kelly com as dicas valiosas a mim prestadas.

Aos funcionários do Laboratório de Concreto de Itaipu que tão prestativamente me auxiliaram nos procedimentos e ensaios ali desenvolvidos.

A todos aqueles que de alguma forma estiveram e estão próximos a mim, fazendo cada segundo dessa vida valer a pena.

## RESUMO

A utilização do concreto produzido com água submetida à passagem por campo magnético é uma das propostas que vêm sendo discutidas após alguns estudos realizados sobre sua influência nas propriedades do concreto, tanto no estado fresco como no estado endurecido, sendo a principal característica o aumento da resistência na ordem de 10%, em comparação ao concreto produzido com água comum. Pesquisas envolvendo essa nova técnica já vem sendo realizadas em diversos países, incluindo o Brasil, possibilitando uma redução no consumo de cimento. Sua aplicação é de grande impacto no setor da construção civil, principalmente em locais onde o consumo de cimento é elevado, pois pode levar a uma significativa redução de custos. O enfoque deste trabalho é a caracterização da resistência à compressão de argamassas e concretos produzido com a água submetida à um campo magnético variando os tempos de exposição ao campo em 1, 2, 4 e 8 horas. A água foi obtida a partir da sua passagem através de um campo magnético fixo e então utilizada como água de amassamento para a fabricação de argamassas e concretos. Foram produzidos corpos de prova de mesmo traço e subsequentemente submetidos aos ensaios de caracterização: resistência à compressão e à tração. Observou-se que o melhor tempo de exposição ao campo magnético foi o de 4 horas, não havendo resultados expressivos para tempos de exposição superiores. Para os concretos com água submetida a campo magnético obteve-se valores de resistência à compressão superiores a 25% e para as argamassas de cerca de 10%, além de um incremento nos valores da trabalhabilidade.

**Palavras-chave:** Água Submetida à Campo Magnético; Concreto; Argamassa; Resistência.

## ABSTRACT

The use of concrete produced with water submitted to the magnetic fields is one of the proposals that have been discussed after some studies carried out in the concrete's properties, both in the fresh and in the hardened state, the main characteristic of this concrete is the increase of strength on the order of 10 % in comparison to the concrete made with common water. Since the researches around this new concrete production, technique has already been done in many countries, including Brazil, making possible a reduction in the cement consumption. It's application is of great impact in the civil construction sector, mainly in places where the consumption of cement is high, as it can lead to a significant reduction of costs. The focus of this work is the characterization of the compressive strength of mortars and concretes produced with water subjected to a magnetic field varying the times of exposure to the same in 1, 2, 4 and 8 hours. The water was obtained from its passage through a fixed magnetic field and then used as kneading water for the manufacture of mortars and concretes. Same test specimens were produced and subsequently subjected to characterization tests: compressive strength and tensile strength. It was observed that the best time of exposure to the magnetic field was 4 hours, with no significant results for higher exposure times. For the concretes with water submitted to magnetic field values of compressive strength higher than 25% and for mortars of around 10%, besides an increase in the value of the workability of the same ones.

**Keywords:** Water Subject to Magnetic Field; Concrete; Mortar; Strength.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Resistências à compressão dos concretos .....	17
<b>Figura 2.</b> Resistências à compressão dos concretos convencional e bombeado de 30 MPa .....	18
<b>Figura 3.</b> Máquina de geração de campo magnético .....	20
<b>Figura 4.</b> Tensiômetro digital k10st da KREUSS.....	21
<b>Figura 5.</b> Esquema experimental para a passagem da água pelo campo magnético.....	21
<b>Figura 6.</b> Resistências à compressão dos concretos para os grupos A (água comum) e B (água SCM).....	23
<b>Figura 7.</b> Equipamento para a passagem de água .....	23
<b>Figura 8.</b> Teste de abatimento para mistura com água comum (a) e com água SCM (b).....	24
<b>Figura 9.</b> Equipamento para a passagem da água pelo campo (a) e para medição da tensão superficial (b).....	24
<b>Figura 10.</b> Processo de obtenção da água SCM.....	25
<b>Figura 11.</b> Equipamento de produção da água SCM em central dosadora de concreto.....	28
<b>Figura 12.</b> Eletroímã utilizado no processo de magnetização .....	30
<b>Figura 13.</b> Processo de magnetização.....	31
<b>Figura 14.</b> Granulometria da areia .....	33
<b>Figura 15.</b> Granulometria da brita .....	35
<b>Figura 16.</b> Agamassadeira.....	36
<b>Figura 17.</b> Materiais utilizados na produção das argamassas.....	36
<b>Figura 18.</b> Moldagem dos corpos de prova de argamassa .....	37
<b>Figura 19.</b> Ensaio de determinação do índice de consistência da argamassa .....	38
<b>Figura 20.</b> Diagrama de dosagem .....	39
<b>Figura 21.</b> Composição de materiais .....	40
<b>Figura 22.</b> Moldagem dos corpos de prova.....	41
<b>Figura 23.</b> Corpos de prova depois de desmoldados.....	41
<b>Figura 24.</b> Câmara úmida para cura dos corpos de prova .....	42
<b>Figura 25.</b> Índice de consistência das argamassas.....	46
<b>Figura 26.</b> Resistências à compressão média das argamassas aos 7 e 28 dias.....	48
<b>Figura 27.</b> Consistência ( <i>Slump Test</i> ) do concreto .....	49
<b>Figura 28.</b> Resistências à compressão média dos concretos aos 7 e 28 dias.....	51
<b>Figura 29.</b> Resistências à tração média dos concretos aos 7 e 28 dias .....	52
<b>Figura 30.</b> Comparação entre resultados dos ensaios de compressão das argamassas e concretos com água comum e água SCM de 4 horas .....	53

---

**Figura 31.** Comparação entre os resultados dos ensaios de compressão das argamassas e concretos com água comum e água SCM de 8 horas .....54



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Dados utilizados por autor em seus respectivos estudos .....	26
<b>Tabela 2.</b> Granulometria da areia.....	32
<b>Tabela 3.</b> Massa específica da areia.....	33
<b>Tabela 4.</b> Massa unitária e absorção de água da areia.....	33
<b>Tabela 5.</b> Granulometria da brita.....	34
<b>Tabela 6.</b> Massa específica e absorção de água da brita.....	35
<b>Tabela 7.</b> Massa unitária da brita .....	35
<b>Tabela 8.</b> Traço utilizado para a fabricação das argamassas.....	36
<b>Tabela 9.</b> Quantidade de corpos de prova de argamassa .....	37
<b>Tabela 10.</b> Composição dos materiais .....	40
<b>Tabela 11.</b> Quantidade de corpos de prova de concreto .....	42
<b>Tabela 12.</b> Resumo dos ensaios realizados.....	44
<b>Tabela 13.</b> Resultados do ensaio de índice de consistência das argamassas .....	45
<b>Tabela 14.</b> Resistência à compressão média das argamassas aos 7 dias .....	46
<b>Tabela 15.</b> Resistência à compressão média das argamassas aos 28 dias .....	47
<b>Tabela 16.</b> Resultados do ensaio de consistência do concreto .....	48
<b>Tabela 17.</b> Resistência à compressão média dos concretos aos 7 dias.....	49
<b>Tabela 18.</b> Resistência à compressão média dos concretos aos 28 dias.....	50
<b>Tabela 19.</b> Resistência à tração média dos concretos aos 7 dias .....	51
<b>Tabela 20.</b> Resistência à tração média dos concretos aos 28 dias .....	52
<b>Tabela 21.</b> Massa específica dos corpos de prova.....	53

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA .....	12
2. OBJETIVOS .....	15
2.1 Objetivo Geral .....	15
2.2 Objetivos Específicos .....	15
3. CONCRETO PRODUZIDO COM ÁGUA SUBMETIDA A CAMPO MAGNÉTICO .....	16
3.1 Introdução .....	16
3.2 Dosagens e Métodos de Aplicação do Campo Magnético .....	19
3.3 Propriedades .....	26
3.4 Aplicações .....	27
4. METODOLOGIA .....	30
4.1 Materiais .....	30
4.1.1 Água .....	30
4.1.2 Cimento .....	31
4.1.3 Areia .....	32
4.1.4 Brita .....	34
4.2 Argamassas .....	36
4.2.1 Produção das Argamassas .....	36
4.2.2 Ensaio de Índice de Consistência .....	37
4.2.3 Ensaio de Resistência à Compressão .....	38
4.3 Concretos .....	38
4.3.1 Dosagem dos Concretos .....	38
4.3.2 Ensaio de Consistência (Slump Test) .....	42
4.3.3 Ensaio de Resistência à Compressão .....	43
4.3.4 Ensaio de Resistência à Tração (Compressão Diametral) .....	43
4.3.5 Massa Específica dos Corpos de Prova .....	43
4.4 Resumo dos Ensaios Realizados .....	43
5. RESULTADOS .....	45

---

5.1 Ensaaios na Argamassa .....	45
5.1.1 Índice de Consistência .....	45
5.1.2 Resistência à Compressão.....	46
5.2 Ensaaios no Concreto.....	48
5.2.1 Consistência (Slump Test).....	48
5.2.2 Resistência à Compressão.....	49
5.2.3 Resistência à Tração (Compressão Diametral) .....	51
5.2.4 Massa Específica dos Corpos de Prova .....	52
5.4 Síntese dos Resultados .....	53
6. CONCLUSÕES .....	55
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	56

## 1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Na indústria da construção civil muito se fala sobre o estudo e desenvolvimento de novas técnicas que possam influenciar na produção do concreto, principalmente se elas levarem a uma redução de tempo, custos e melhorarem a eficiência do processo. Apesar das várias pesquisas que vêm sendo realizadas, pouco se estuda sobre as propriedades da água e menos ainda foram os resultados obtidos em relação à importância da água de amassamento de argamassas e concretos.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT em suas normas específicas, NBR-12654 (ABNT, 1992), NBR-6118 (ABNT, 2004) e NBR-15900-1 (ABNT, 2009), exemplifica os requisitos que a água deve cumprir de modo a ser indicado o seu uso, e também procedimentos de ensaios de forma a avaliar se é passível de utilização na fabricação do concreto, descartando quaisquer poluentes que possam interferir no seu processo de produção e respectiva qualidade.

É de conhecimento geral que um dos processos mais importantes para o endurecimento do concreto e sua qualidade é a preparação da mistura. Maneiras de otimizar e controlar esse processo vem sendo amplamente estudadas, sendo um dos grandes destaques o procedimento envolvendo a passagem de água por um campo magnético (AZHARONOK *et al.*, 2009).

A denominação água submetida a um campo magnético (SCM) não implica que água apresente força magnética, mas sim que foi submetida a um campo magnético, o que pode levar a significativas alterações em suas propriedades, como a variação em sua tensão superficial (REDDY; GHORPADE; RAO, 2014a).

O concreto produzido com água submetida a um campo magnético, ou concreto com água SCM, como será denominado neste trabalho, é conhecido como um concreto especial, ou seja, é uma das novas formas de fabricação disponíveis para o processo de concretagem, e sua respectiva aplicação é uma das propostas que vêm sendo amplamente discutidas por diversos pesquisadores, particularmente no que diz respeito a influência nas propriedades do concreto nos estados fresco e endurecido. A evidência mais contundente do benefício da utilização da água SCM para o concreto, está no ganho da ordem de 10% na resistência à compressão em comparação com aquele produzido com água comum, como apresentado por Su, Wu e Mar (2000), Ahmed (2009) e Karam e Al-Shamali (2014).

Segundo Guimarães (2006), o primeiro aparelho desenvolvido no Brasil para produzir a água SCM proporcionava um campo muito pequeno, não sendo suficiente para reduzir a tensão superficial das partículas de água. Em 2002 foi desenvolvido um aparelho que permitiu a geração de um campo da ordem de 0,8 Tesla ou 8000 Gauss, onde foi possível modificar a

viscosidade da água, diminuindo sua tensão superficial e aumentando a eficiência na molhagem e hidratação do cimento. Os responsáveis pelo desenvolvimento desses avanços no Brasil foram os pesquisadores do Departamento de Engenharias e Materiais de Construção (DEMC) da Universidade Federal de Minas Gerais.

Su, Wu e Mar (2000) afirmam que o processo de submeter a passagem da água por um campo magnético proporciona uma adsorção menor das substâncias ativas da superfície na interface da relação água-cimento. Assim, a sua utilização permite um processo de hidratação mais completo e um aumento na resistência mecânica do concreto. Os autores também citam como vantagens do processo a redução na quantidade de cimento utilizado e a não utilização de produtos químicos (aditivos), evitando assim a poluição ambiental.

As moléculas da água SCM se tornam dispersas em grupos menores, penetrando mais facilmente pela camada de hidratação, produzindo dessa forma uma hidratação mais completa. Além disso, quando essa água foi também utilizada para a cura do concreto, observou-se o aumento ainda maior na resistência a compressão desse concreto (SU; WU, 2003).

A utilização de aditivos superplastificantes de 3ª geração também produzem a redução na tensão superficial da água o que facilita a molhagem do cimento de forma a melhorar a trabalhabilidade e reduzir o consumo de cimento, porém esses aditivos ainda possuem um custo elevado.

A utilização da água SCM não se restringe apenas a área da engenharia civil. Há vários anos sendo utilizada para outras práticas, como na agricultura e na saúde, tendo resultados benéficos comprovados em ambas as áreas (COSTA; SILVA; SOUZA; SALES, 2012; NETO *et al.*, 2013).

Apesar dos vários estudos envolvendo a técnica de produção da água SCM, grande parte teve seu enfoque em comparações entre as propriedades mecânicas do concreto com água SCM e aquele produzido com água comum, mas poucas foram as suas efetivas aplicações.

Guimarães (2006) desenvolveu uma aplicação para a utilização dessa nova técnica de produção de concreto, em centrais dosadoras onde a água foi submetida à passagem por uma região de campo magnético produzido por quatro células de indução magnética e posteriormente usada para dosagem.

Sabe-se que dentro do processo de produção de concreto, o composto de custo mais elevado é o cimento, dessa forma, o desenvolvimento de técnicas que permitam a sua redução vêm a ser de grande utilidade para a indústria da construção civil, tornando esse procedimento mais barato e acessível para as empresas construtoras.

Porém, deve-se tomar o cuidado de forma que a tentativa de redução na quantidade de cimento não interfira nas propriedades que um concreto deve possuir, tais como trabalhabilidade, resistência, durabilidade, consistência e módulo de elasticidade (GUIMARÃES, 2006).

Alguns autores como Su, Wu e Mar (2000), Guimarães (2006), Reddy, Ghorpade e Rao (2014a, 2014b), Shynier et al (2014), afirmam que devido a hidratação mais completa do cimento, proporcionado pela utilização da água submetida à campo magnético na preparação do concreto é possível a redução do consumo de cimento em sua produção, sendo essa redução de até 14%.

Assim, o desenvolvimento de estudos e análises que levem a aplicações para a técnica de produção de concreto e argamassas com água SCM, podem levar a grandes reduções de custos em obras, sobretudo em grandes empresas, ou indústrias que consumam o cimento em grandes quantidades, como aquelas de produção de pré-fabricados, lajes, tubos, tijolos e blocos para alvenaria e pisos. Além de ocasionar uma diminuição dos impactos ao meio ambiente, já que a produção de cimento gera elevadas liberações gases poluentes na atmosfera.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Avaliar a influência do tempo de exposição da água de amassamento a campo magnético na resistência à compressão e trabalhabilidade de concretos convencionais e argamassas.

### **2.2 Objetivos Específicos**

Com o desenvolvimento deste trabalho pretende-se atingir os seguintes objetivos específicos:

- a) Realizar uma revisão bibliográfica sobre os efeitos da exposição da água de amassamento a campo magnético nas propriedades de concretos e argamassas,
- b) Avaliar os efeitos de diferentes águas de amassamento submetidas a campo magnético na consistência e resistência mecânica de argamassas,
- c) Avaliar os efeitos de diferentes águas de amassamento submetidas a campo magnético na consistência e resistência mecânica de concretos,
- d) Analisar a influência de diferentes tempos de exposição da água a um campo magnético fixo nas propriedades mecânicas e de trabalhabilidade de concretos e argamassas convencionais;

### 3. CONCRETO PRODUZIDO COM ÁGUA SUBMETIDA A CAMPO MAGNÉTICO

#### 3.1 Introdução

Há anos desenvolvem-se pesquisas a respeito da utilização da água SCM, ou também chamada por alguns autores de água imantada, como água de amassamento para a produção de argamassas e concretos. Diversos autores já tiveram suas linhas de pesquisas focadas nessa área, tais como Su, Wu e Mar (2000), Gomes (2003), Guimarães (2006), Azharonok *et al.* (2009), Reddy, Ghorpade e Rao (2014a, 2014b).

Su, Wu e Mar (2000) começaram seus estudos baseados em publicações da Rússia e China Continental que afirmavam que a utilização de água SCM na produção de concreto acelerava sua reação de hidratação, aumentava sua trabalhabilidade, resistência à compressão, impermeabilidade e resistência ao processo de solidificação e condensação.

Baseados em ensaios com amostras de argamassa e pasta de cimento contendo distintas porcentagens de escória granulada de alto-forno em sua composição, relações água/cimento ( $a/c$ ) e intensidades de campo magnético, submetidas à ensaios de resistência à compressão, os autores concluíram que a fluidez da argamassa fresca preparada com água SCM é superior a aquela produzida com água comum, além de ocorrer uma melhora na resistência à compressão entre 10% à 23%, dependendo da intensidade do campo magnético ao qual a água foi exposta. Eles creditam essas melhoras ao fato de que a força magnética ao agir sobre as moléculas de água permite que elas adentrem mais facilmente nas partículas de cimento, ocorrendo assim um processo de hidratação mais completo (SU; WU; MAR, 2000).

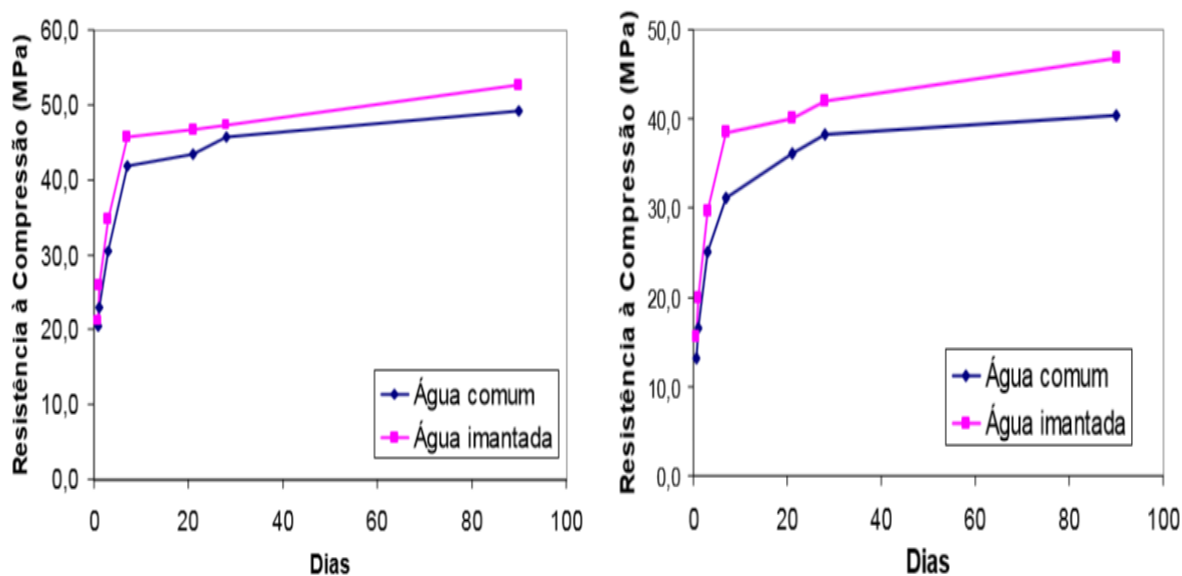
Alguns anos à frente Su e Wu (2003) realizaram outras experiências envolvendo a água SCM com variações nas intensidades de campo e diversas proporções de adição de cinza volante e relações água/cimento para a argamassa e o concreto. Obtiveram novamente um aumento na fluidez da argamassa produzida com a água SCM, e também na sua resistência à compressão entre 15% a 20% aos 7 dias de cura, quando o campo varia entre 0,8 e 1,2 Tesla. Porém, com o aumento no tempo de cura, em torno dos 28 dias, essa melhora nas argamassas produzidas com água SCM tende a se igualar com aquelas produzidas com água comum. Os autores afirmam ainda que na ocorrência do processo de hidratação, há a formação de uma camada no exterior do cimento impedindo a penetração das moléculas de água. Na utilização da água SCM, as moléculas são bem dispersas em pequenos aglomerados que conseguem penetrar mais facilmente por essa camada de hidratação, sendo o processo mais eficiente, melhorando assim as propriedades do concreto.



No Brasil destacam-se os estudos de Gomes *et al.* (2003), que exemplificam que a molécula de água pode apresentar-se de três formas diferentes, sendo a primeira com elevada tensão superficial; a segunda com tensão superficial menor; e por última baixa tensão superficial, proporcionando uma área de molhagem da superfície sólida bem maior que as situações anteriores. É essa redução na tensão superficial da água que pode proporcionar uma melhor hidratação do cimento para a produção de concreto.

Com a produção de duas dosagens de concreto, com água SCM e água comum ocorreram melhoras significativas na resistência à compressão em todas as idades testadas para o concreto produzido com água SCM, conforme apresentado na **Figura 1**. Apresentando ainda uma consistência média de 20 mm superior ao concreto produzido com água comum.

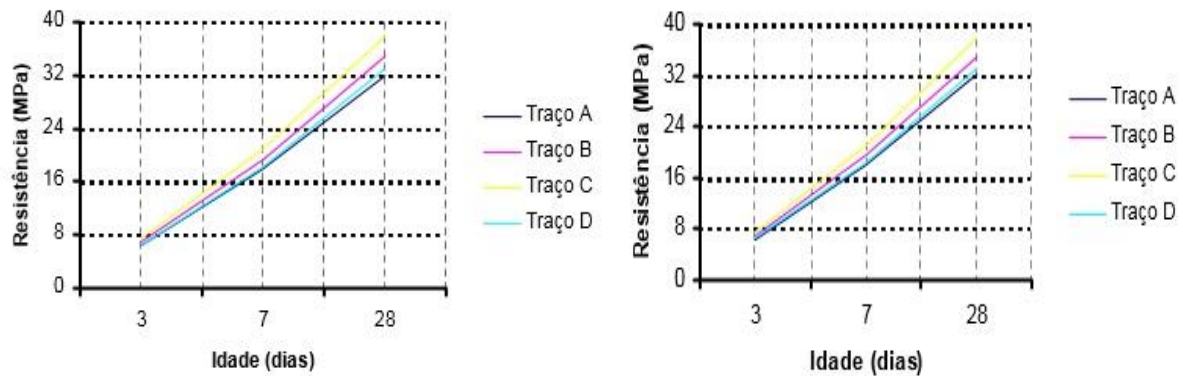
**Figura 1.** Resistências à compressão dos concretos



Fonte: GOMES et al. (2003).

Guimarães (2006) otimizou o processo de utilização da água SCM em centrais dosadoras de concreto. Analisou quatro traços, ou composições de materiais, diferentes para experimentação, onde apenas o traço A continha água comum, o traço B continha água SCM, o traço C diminuía a quantidade de água SCM utilizada, e o traço D também com água SCM, porém variando o consumo de cimento. Essas quatro dosagens foram realizadas para diferentes classes de concreto, de 10, 15, 18, 20, 25 e 30 MPa, e para duas dosagens distintas: concreto convencional e bombeado. A **Figura 2** apresenta os valores de resistência obtidos para os dois tipos de concreto, convencional e bombeado, de 30 MPa.

**Figura 2.** Resistências à compressão dos concretos convencional e bombeado de 30 MPa



Fonte: GUIMARÃES, (2006).

Os incrementos nas resistências à compressão dos traços B, C e D em relação ao traço A foram de 9% a 18%, além de uma melhoria na trabalhabilidade no estado fresco do concreto. Já nos testes de resistência à tração, a melhoria foi de 20% e a economia de cimento variou de 3% a 14% a menos em relação ao concreto produzido com água comum (GUIMARÃES, 2006).

Azharonok *et al.* (2009) obtiveram uma melhora de 35% a 40% na resistência à compressão de concretos utilizando a água SCM para dosagens realizadas depois de 30 minutos do processo de magnetização. Observaram também que concretos produzidos 7 dias depois da realização do tratamento de magnetização obtiveram melhorias de 25% a 30% na resistência à compressão para ensaios realizados aos 3 e 7 dias. Porém, aos 28 dias a resistência foi semelhante a apresentada por concretos produzidos com água comum.

Ahmed (2009) em suas observações também afirma que a água quando submetida a um campo magnético, tende a orientar suas moléculas em uma direção. Esse novo arranjo é causado por ligações de relaxamento, diminuindo o ângulo de ligação e consequentemente o grau de ligação entre as moléculas e o aumento delas. Assim, a viscosidade da água SCM passa a ser menor que a da água comum, também provocando uma alteração no pH e na condutividade elétrica. Em suas experiências, Ahmed obteve um aumento de 10% a 20% na resistência a compressão do concreto, além de melhorias na trabalhabilidade, considerado pelo autor como algo bom, já que comumente uma melhor trabalhabilidade relacionada com a adição de água provoca uma diminuição na resistência a compressão, contrário ao que foi encontrado.

A partir de seus estudos Gholizadeh e Arabshahi (2011) puderam concluir que o concreto com água SCM apresentou um aumento na resistência à compressão de 25% e na resistência a tração de 40%, melhora na resistência ao congelamento, diminuição da tensão superficial da água em 10% e ainda aumento na eficiência do concreto e redução na quantidade de água utilizada na produção.

Nos últimos três anos continuaram-se os avanços nos estudos da eficiência da utilização da água SCM no concreto. SHYNIER et al. (2014) obtiveram um aumento entre 10% e 22% na resistência à compressão, confirmando que pudesse reduzir a relação água/cimento, melhorando a resistência do concreto, sua trabalhabilidade, seguido de um aumento na fluidez com a eliminação de uso de aditivos.

Já Karan e Al-Shamali (2014) afirmaram terem obtido uma melhora de 10% a 15% na resistência do concreto produzido com água SCM. Outras propriedades como resistência à flexão e tração aumentaram entre 7% a 28%, além de ocorrer uma efetiva melhoria em sua trabalhabilidade.

Reddy, Ghorpade e Rao (2014a, 2014b), também obtiveram no desenvolvimento de suas pesquisas, incrementos nas resistências à compressão de 55,7% aos 28 dias e 51,7% após um ano, com a utilização da água SCM. As resistências ao impacto, flexão e tração alcançaram nessa ordem melhorias de 45%, 21,5% e 12,65% aos 28 dias, e a longo prazo, cerca de um ano, as respectivas resistências obtiveram aumentos de 42,2%, 29,3% e 12,7% respectivamente.

Mais recentemente, Aves e Santo (2015) realizaram experimentos analisando as melhorias da utilização da água SCM em comparação à água de poço, obtendo um acréscimo de aproximadamente 10% na resistência a compressão aos 7 dias e de 7% aos 28 dias. Além de uma melhoria na sua absorção, índice de vazios e massa específica, sendo amplamente recomendado para utilização na construção civil.

### **3.2 Dosagens e Métodos de Aplicação do Campo Magnético**

Um campo magnético pode ser produzido de duas formas: a primeira a partir de um eletroímã, partículas eletricamente carregadas em movimento, e a segunda a partir de ímãs permanentes, partículas elementares que possuem um campo magnético intrínseco (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012).

As pesquisas que precedem esse assunto foram realizadas de diversas formas, sendo que cada autor possui características específicas em seus experimentos, como tipo de imã utilizado, traços de dosagens, utilizações de adições, entre outros.

Su, Wu e Mar (2000) realizaram suas pesquisas em Taiwan, onde obtiveram a água SCM passando a água comum através de um campo magnético com fluxo de 1,35 m<sup>3</sup>/h, com intensidades de campo de 0,2, 0,4, 0,6, 0,8, 1,2 e 1,35 Tesla. Os autores não exemplificam qual o tipo de imã utilizado, nem quanto tempo a água foi exposta a esse campo. Foram realizadas dosagens de concreto, argamassa e pasta de cimento com adições de escória granulada de alto-forno nas porcentagens de 5%, 15% e 25%. Para ambas as dosagens os

testes ocorreram aos 7, 28 e 56 dias. Para o concreto foram moldados corpos de prova cilíndricos, com relação água/cimento de 0,51. As argamassas possuíam relações a/c de 0,4, 0,485 e 0,55 com corpos de prova cúbicos de 5 cm de aresta. Já para a pasta de cimento foi utilizada uma relação de a/c de 0,29 e proporção de peso de água para ligante de 0,29: 1,5, também com corpos de prova cúbicos. Sendo que as melhores resistências foram para as amostras em que a água foi submetida aos campos de 0,8, 1,2 e 1,35 Tesla, e para aquelas contendo a adição de escória granulada de alto-forno (SU; WU; MAR, 2000).

Na continuação de suas pesquisas, Su e Wu (2003) realizaram testes com adições de cinza volante de porcentagens de 5%, 15% e 25% para a argamassa, e de 5%, 10% e 15% para o concreto, com corpos de prova cilíndricos para o concreto e cúbicos para a argamassa. Os autores afirmam que a água SCM pode ser mantida em reservatório por até 12 horas, pois após esse tempo, ela perde facilmente as propriedades adquiridas com o processo de passagem da água pelo campo magnético. Para o respectivo processo de magnetização foi utilizada uma máquina de geração de campo magnético de tamanho de 1.206.072 cm<sup>3</sup>, peso de cerca 250 kg, diâmetro do tubo de fluxo de 25 mm, e força de campo magnético variando entre 0 e 5 Tesla, com corrente elétrica de carga total de 15 A, conforme **Figura 3**.

**Figura 3.** Máquina de geração de campo magnético



Fonte: Su; Wu, (2003).

No mesmo ano, no Brasil, Gomes *et al.* (2003) desenvolveram duas misturas de concreto, uma convencional e outra utilizando sistemas de bombeamento, com materiais obtidos na cidade de Belo Horizonte, Minas Gerais. A água utilizada era natural de poço artesiano, sendo submetida a um campo magnético durante 3 horas e depois acondicionada em reservatório. A primeira dosagem possuía traço de 1: 3,26, relação a/c de 0,4, cimento CP III e fck 40 MPa; e a segunda dosagem possuía traço de 1: 3,46, relação a/c de 0,42, cimento CP V ARI e fck 30 MPa. Foram realizados corpos de prova cilíndricos com ensaios à compressão a 18 horas, 3, 7, 21 e 28 dias. Como os autores afirmam que o processo de

submeter a água a um campo magnético produz uma redução na tensão superficial, sendo ela medida às 2, 4, 6 e 8 horas após a indução. A **Figura 4** apresenta o tensiômetro digital k10st da KREUSS, responsável por realizar a medição da tensão superficial.

**Figura 4.** Tensiômetro digital k10st da KREUSS



Fonte: GOMES et al., (2003).

Santos (2006) produziu 12 traços distintos de concreto, variando os agregados graúdos, gnaiss e calcário dolomítico, e três tipos de cimento, CP II E 32, CP V - PLUS e CP V - RS, além da água SCM e comum. Foram moldados 216 corpos de prova com ensaios aos 3, 7, 14, 28, 56 e 90 dias, para ensaios de resistência a compressão, módulo de elasticidade e teste de ultrassom. O processo de obtenção da água SCM envolvia dois reservatórios de água e a passagem dela por um condicionador físico, onde ocorria o tratamento magnético, apresentado na **Figura 5**.

**Figura 5.** Esquema experimental para a passagem da água pelo campo magnético



Fonte: SANTOS, (2006).

Azharonok *et al.* (2009) trataram a água através de um aparelho desenhado e montado a partir de um gerador de corrente alternada, produzindo um campo eletromagnético com frequência de 5,28 MHz, sendo o campo produzido em uma espiral de 80 mm de diâmetro e 90 mm de comprimento, resfriada com água, ligada a uma carga indutiva na saída do gerador. A água utilizada no processo era da torneira e destilada, sendo submetida ao processo no intervalo de 1 a 16 minutos, e utilizada após 30 minutos do tratamento para a produção do concreto, sendo que os autores afirmam que a água SCM mantém suas propriedades entre 15 a 20 horas após o processo de magnetização.

A mistura de argamassa possuía traço de 1: 1,5 e com o objetivo de reduzir a relação a/c, melhorar a mobilidade da mistura e aumentar a resistência à compressão. Utilizaram também agente plastificante, sendo possível diminuir a relação a/c entre 25 - 30%. Foram moldados corpos de prova cúbicos, com testes de compressão aos 3 e 28 dias (AZHARONOK *et al.*, 2009).

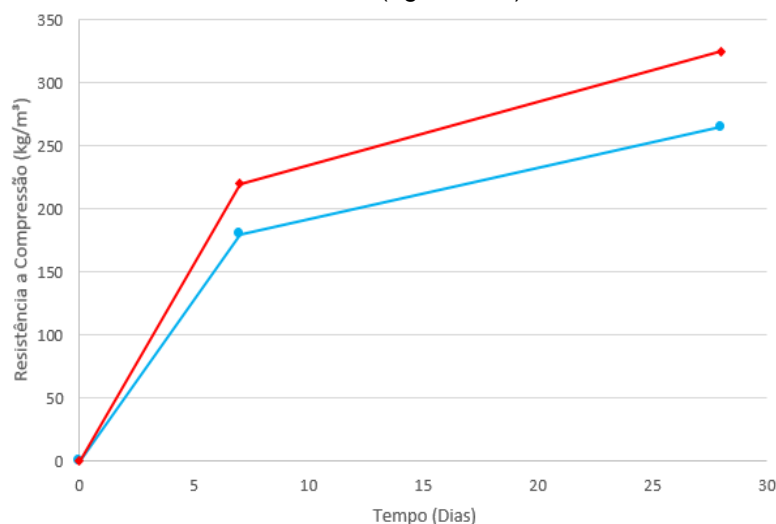
Ahmed (2009) desenvolveu duas análises diferentes em seus estudos. A primeira com a água submetida a um campo de 12.000 Gauss, ou 1,2 Tesla, com velocidades de 1,27; 0,71; 0,42; 0,32; 0,25 e 0,20 m/s, totalizando sete misturas de concreto, sendo seis com água SCM e uma com água comum. O traço utilizado foi de 1: 1,75: 2,775, com relação a/c de 0,45. Foram moldados corpos de prova em forma de cubos de 150 mm x 150 mm x 150 mm, e testados aos 7 dias. No resultado ocorreu a melhoria na resistência à compressão para todos os corpos de prova produzidos com água SCM, sendo o mais considerável para aquela tratada à velocidade de 0,71 m/s para a passagem de água pelo espiral.

A segunda análise consistiu em três dosagens diferentes, sendo produzidas duas misturas para cada, uma com a água SCM e outra com água comum. A primeira dosagem possuía traço de 1: 1,75: 2,775 e relação a/c de 0,45, o segundo traço era 1: 1,60: 2,0 e relação a/c de 0,56. Já o último traço era de 1:1,75:3,0 e relação a/c de 0,425. A água SCM utilizada para as três dosagens foi submetida a um campo de 1,2 Tesla e tempo de tratamento de 4,5 s/l, com testes aos 7 e 28 dias (AHMED, 2009).

Gholizadeh e Arabshahi (2011) utilizaram em seu processo de magnetização uma máquina que afirmam ter sido criada por um engenheiro belga em 1945, possuindo um forte ímã localizado em um pequeno tubo, que permite a criação de um campo de 6.500 Gauss, ou 0,65 Tesla. Os autores afirmam que devido as forças de Lorentz nessa máquina, a saída de força magnética depende do campo aplicado, velocidade do fluxo de água, número de partículas com carga positiva ou negativa e ângulo entre a velocidade da partícula e a direção de aplicação do campo magnético. Foram realizadas duas misturas de concreto, o grupo A contendo 52 amostras produzidas com água comum e o grupo B com 52 amostras feitas com água SCM. As duas misturas foram submetidas a testes de abatimento (*slump test*),

apresentando valores de 4 cm para o grupo A e 11 cm para o grupo B. Já os testemunhos cúbicos e cilíndricos foram submetidos à testes de resistência à compressão aos 7 e 28 dias, com resultados apresentados na **Figura 6**.

**Figura 6.** Resistências à compressão dos concretos para os grupos A (água comum) e B (água SCM)



**Fonte:** Adaptado de GHOLIZADEH; ARABSHAHI, (2011).

Shynier *et al.* (2014) produziram 63 m<sup>3</sup> de concreto com água SCM, submetida à campos de 4.000, 6.000 e 9.250 Gauss, ou seja, 0,4, 0,6 e 0,925 Tesla, a uma velocidade de passagem de 0,8 m/s pelo campo magnético. O traço utilizado foi de 1:1,75:2,75, com amostras cúbicas testadas aos 7, 14 e 28 dias. Para a submissão da água ao campo magnético foi montado um equipamento que retirava a água do sistema de abastecimento da cidade, passando por um tubo e em seguida pelo imã, controlado por duas válvulas. A válvula antes do imã controlava a velocidade de entrada, e a válvula após o imã a saída da água para o tanque de armazenamento, conforme **Figura 7**. A aumento na trabalhabilidade da mistura produzida com água SCM é visível no teste de abatimento apresentado na **Figura 8**.

**Figura 7.** Equipamento para a passagem de água



**Fonte:** SHYNIER et al., (2014).



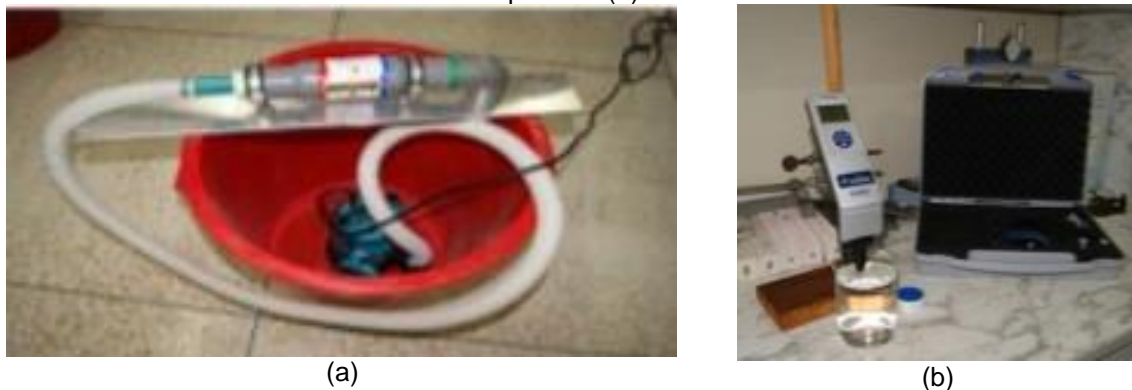
**Figura 8.** Teste de abatimento para mistura com água comum (a) e com água SCM (b)



Fonte: SHYNIER et al., (2014).

Para seus estudos, Karam e Al-Shamali (2014) utilizaram um aparelho especial para geração do campo, comprado e montado com a imersão de uma bomba de água, conforme **Figura 9a**. A água circulou no aparelho durante 45 minutos com vazão de  $9 \text{ m}^3/\text{h}$ , sendo a redução da tensão superficial de  $7,4 \text{ mN/m}$ , medida pelo equipamento apresentado na **Figura 9b**. O campo no qual a água foi submetida era de  $1,2 \text{ Tesla}$ , e as amostras com relação a/c de  $0,6$ , foram submetidas a testes aos 7, 14 e 28 dias.

**Figura 9.** Equipamento para a passagem da água pelo campo (a) e para medição da tensão superficial (b)



Fonte: KARAM; AL-SHAMALI, (2014).

Reddy, Ghorpade e Rao (2014a, 2014b) realizaram o processo de imantação de uma forma distinta, pois não utilizaram nenhum equipamento de geração de campo magnético, mas apenas deixaram um copo de água sobre um ímã de aproximadamente  $0,1 \text{ Tesla}$  durante um período de 24 horas, conforme **Figura 10**. Para a produção de concreto de traço  $1: 1,5: 3,0$  foram utilizados três tipos diferentes de água SCM: uma exposta ao polo sul do ímã, outra exposta ao polo norte e a última exposta ao polo misto (norte e sul), além de serem utilizadas duas águas: normal e destilada. Foram produzidos corpos de prova cilíndricos, cubos e vigas,



onde os cubos foram colocados dentro de uma banheira para cura depois de desmoldados. As melhorias nas misturas utilizando água SCM foram notáveis, principalmente nos quesitos de trabalhabilidade, fluidez e não apresentação de segregação. As resistências à tração e flexão também aumentaram com o processo de submissão à um campo magnético da água e ainda mais para a água submetida à magnetização com polo misto do imã.

**Figura 10.** Processo de obtenção da água SCM



Fonte: REDDY; GHORPADE; RAO, (2014b).

Alves e Santo (2015) em seus experimentos produziram duas misturas de concreto, uma com água SCM e outra com água proveniente de poço no estado do Mato Grosso do Sul. Foram confeccionados dois traços com 24 corpos de prova cilíndricos em cada, ambos com teor de argamassa de 49% e utilização de aditivo plastificante com proporção de 0,6% em relação a massa de cimento. Foi realizado teste de abatimento 15 minutos após a preparação de cada mistura, e ensaios de compressão após 24 horas, 7, 28 e 63 dias. Também foram realizados ensaios de capilaridade e imersão. O processo de produção da água SCM foi realizada mediante máquina cedida pela empresa Fortmag, porém, não foi detalhado o seu método de funcionamento.

Assim, nota-se que não existe um procedimento específico para a produção da água SCM, o qual pode ser realizado de várias formas, desde a utilização de pequenos imãs encontrados em lojas comerciais até com grandes máquinas e equipamentos elaborados com diversos componentes. Porém, são comprovado os efeitos positivos da utilização da água SCM para a produção do concreto, principalmente quanto à resistência a compressão e trabalhabilidade.

Na **Tabela 1** é possível observar as intensidades de campo magnético aplicadas, tempos de exposição da água ao campo e velocidades ou fluxos de passagem da água por esse campo conforme utilizadas por cada autor em seus estudos.

**Tabela 1.** Dados utilizados por autor em seus respectivos estudos

Autor e Ano	Intensidade do Campo Magnético (Tesla)	Velocidade (m/s) ou vazão (m³/h) de Passagem da Água pelo Campo	Tempo de Exposição da Água ao Campo (h)
Su, Wu e Mar (2012)	1,2, 0,4, 0,6, 0,8, 1,2 e 1,35;	1,35 m³/h	
Su e Wu (2003)	Entre 0 e 5	1,35 m³/h	2; 4; 6; 8;
Santos (2006)	Entre 0,15 e 0,20	2,00 m³/h	
Azharonok <i>et al.</i> (2009)			Entre 0,017 a 0,267
Ahmed (2009)	1,2	1,27, 0,71, 0,42, 0,32, 0,25 e 0,20 m/s	
Gholizadeh e Arabshahi (2011)	0,65		
Shynier <i>et al.</i> (2014)	0,4, 0,6 e 0,925	0,8 m/s	
Karam e Al-Shamali (2014)	1,2	9 m³/h	0,75
Reddy, Ghorpade e Rao (2014a, 2014b)	0,1		24

### 3.3 Propriedades

A dosagem de um concreto tem por objetivo a obtenção de um produto onde seu desempenho atenda certos requisitos definidos de maneira prévia, onde as propriedades mais importantes são geralmente a trabalhabilidade no estado fresco e a resistência no estado endurecido, sendo outra importante propriedade a durabilidade.

Como o enfoque deste trabalho está na utilização da água SCM para a produção de concreto, serão analisadas apenas as propriedades do concreto influenciadas pela água.

Entre as propriedades do estado fresco pode-se citar a trabalhabilidade, definida por Metha e Monteiro (2014) em função de dois fatores essenciais: a fluidez, descrita como a facilidade de mobilidade; e a coesão, descrita como resistência a segregação ou exsudação, sendo que esta não é intrínseca do concreto, mas depende do tipo de construção, métodos de adensamento, lançamento e acabamento. Os fatores que podem afetar a trabalhabilidade são a quantidade de água, o teor de cimento, a granulometria dos agregados, entre outras. Assim, mantida constante a relação a/c, mas diminuindo a relação agregado/cimento, o teor de água aumenta e a mistura passa a ter uma consistência mais fluida. Sua medida é comumente realizada pelo ensaio de abatimento do tronco de cone, ou *slump test*, de forma a determinar a consistência da mistura.

Ainda no estado fresco, pode-se citar a exsudação, considerada como uma forma de segregação onde ocorre a deposição da água na superfície do concreto, causada pela

incapacidade dos componentes sólidos da mistura de conter toda a água de amassamento quando se dirigem ao fundo (NEVILLE; BROOKS, 2010).

A segregação também pode ocorrer de outra forma, característica de misturas muito secas, onde há a separação entre os agregados e a argamassa do concreto. É de vital importância a redução da segregação no concreto, pois a compactação total dos componentes não ocorre após o mesmo ter segregado, assim o potencial máximo de resistência não é atingido (METHA; MONTEIRO, 2014).

Já no estado endurecido do concreto é possível analisar as suas propriedades mecânicas, tais como: resistência à compressão, resistência à tração e módulo de elasticidade, sendo normalmente analisadas a partir de ensaios específicos.

Segundo Neville e Brooks (2010), os principais fatores verificados na prática que influenciam na resistência do concreto são: a relação a/c, idade, temperatura e grau de adensamento.

É de conhecimento geral que um menor teor de água na produção do concreto conduz a uma maior resistência, porém ocasiona a perda da trabalhabilidade. Isso indica a importância da utilização de aditivos de forma a melhorar essa relação, já que qualquer acréscimo de água leva a uma diminuição na resistência do concreto.

Sendo assim, a melhoria das propriedades do concreto, tanto no estado fresco como endurecido contribuem para a garantia de durabilidade e provavelmente do aumento da vida útil de estruturas de concreto.

### 3.4 Aplicações

Apesar das inúmeras pesquisas envolvendo o processo de produção da água SCM e seus benefícios nas propriedades do concreto, especialmente resistência e trabalhabilidade, foi encontrado apenas um estudo envolvendo esta aplicação na indústria da construção civil.

O projeto desenvolvido por Guimarães (2006) envolve a possibilidade da produção de concretos mais baratos com foco na água de amassamento da mistura e na redução da quantidade de cimento utilizada com enfoque na utilização de água SCM em concretos produzidos em centrais dosadoras.

Para isso o autor selecionou primeiramente os materiais que seriam utilizados no desenvolvimento da pesquisa, sendo cimento CP II E 40, britas calcárias nº 0 e nº 1, areia natural, adição mineral - pó de pedra, aditivo plastificante Mastermix 390 N e dois tipos de água, normal e SCM. A **Figura 11** apresenta o processo de produção da água SCM, que compreende a passagem da água da torneira por um campo magnético de 0,8 Tesla gerado por 4 células de indução durante 6 horas, a uma vazão de bombeamento de 2,94 m³/h, e

posteriormente acondicionada em reservatório. A escolha pelo tempo de 6 horas para a obtenção da água SCM se deu a partir da análise da tensão superficial da água em diversos tempos, com tensiômetro digital, não apresentando mudanças significativas em períodos superiores à 6 horas (GUIMARÃES, 2006).

**Figura 11.** Equipamento de produção da água SCM em central dosadora de concreto



Fonte: GUIMARÃES, (2006).

Foram realizadas 6 distintas composições de concreto, de 10, 15, 18, 20, 25 e 30 MPa para os concretos convencional e bombeado, com 4 traços para cada, sendo que apenas o traço A foi produzido com água comum e os traços B, C e D com água SCM, mas variando a quantidade de seus componentes. Após a produção das misturas de concreto foi realizado o *slump test* (abatimento) e a moldagem de 15 corpos de prova cilíndricos para cada traço, totalizando 720 amostras. As resistências à compressão foram testadas aos 3, 7 e 28 dias, já as provas de resistência à tração ocorreram aos 28 dias. O módulo de elasticidade dinâmico foi obtido através de ensaio de ultrassonografia aos 28 dias. Foi realizado também ensaio de absorção de água por imersão aos 27 dias (GUIMARÃES, 2006).

Guimarães (2006) afirma uma melhora nas resistências a compressão devido à água SCM de 18,27% para os concretos convencionais e 18,25% nos concretos bombeados em comparação com as correspondentes misturas confeccionadas com água comum. Sendo assim, o autor atesta a eficiência do processo de magnetização da água e sua utilização em centrais dosadoras de concreto e a comprovação da redução de até 14% no consumo de cimento, reduzindo os custos de produção e consequentemente os custos de distribuição ao consumidor.

Dessa forma é interessante a aplicação dessa técnica em diversas empresas que fornecem produtos ao mercado de construção civil, como produção de pré-fabricados e pré-moldados, blocos de concreto e cimento, pisos, entre outros.

## 4. METODOLOGIA

Para a execução deste trabalho foi realizada a caracterização dos materiais utilizados na produção do concreto (água, cimento, areia e brita), e os respectivos ensaios recomendados para cada um deles. Em seguida, realizaram-se a dosagem e produção dos concretos com água SCM e com água normal, juntamente com os ensaios no estado fresco e moldagem dos corpos de prova. Após a cura dos corpos de prova executou-se os ensaios recomendados pela ABNT para o estado endurecido. Também realizou-se a produção de argamassas com água comum e água SCM, com moldagem de corpos de prova e execução de ensaios. A finalização deste trabalho se deu com a análise e discussão dos resultados obtidos.

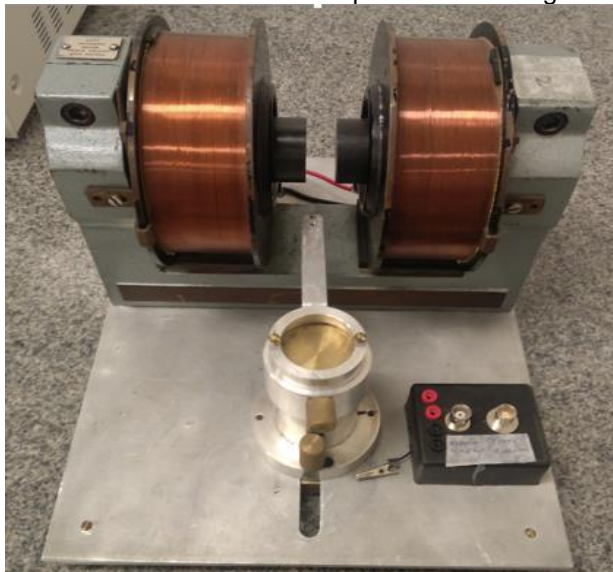
### 4.1 Materiais

#### 4.1.1 Água

A água utilizada neste trabalho é proveniente do sistema público de abastecimento da cidade de Foz do Iguaçu - PR, a qual condiz com os requisitos estabelecidos pela NBR 15900-1 (ABNT, 2009), não sendo necessários testes adicionais para confirmação de potabilidade.

Para sua utilização na fabricação do concreto, a água foi submetida ao processo de magnetização. O eletroímã, (**Figura 12**), utilizado no procedimento é de propriedade da UNILA - Universidade Federal da Integração Latino-Americana e produz um campo máximo de 0,2 Tesla.

**Figura 12.** Eletroímã utilizado no processo de magnetização



Para esse trabalho foram utilizadas águas submetidas ao um campo magnético fixo, variando-se os tempo de exposição. As águas foram expostas a tempos de: 1 h, 2 h, 4 h e 8 h. Também foi fabricado uma dosagem de concreto para água comum, de forma a realizar a comparação entre os resultados para os diferentes tipos de água.

Os parâmetros utilizados para o processo de produção da água SCM, apresentado na **Figura 13**, são: campo aplicado de 0,2 Tesla, fluxo de água de 0,0006 m<sup>3</sup>/h, corrente de 1,4 A e tensão de 6 V para a fonte de corrente contínua ligada a bomba de água, e corrente de 0,5 A e tensão de 22,2 V para a fonte de corrente contínua ligada ao eletroímã, para todos os tempos de exposição da água.

**Figura 13.** Processo de magnetização



Também foram produzidas argamassas com águas submetidas aos tempos de exposição ao campo magnético fixo de 1 h, 2 h, 4 h e 8 h, como também com água comum, de forma a realizar a comparação entre os resultados.

#### 4.1.2 Cimento

O cimento utilizado tanto na produção do concreto como na de argamassa é o cimento Portland CP II F da Votoran.

### 4.1.3 Areia

Segundo a NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação (ABNT, 2009), são considerados agregados miúdos aqueles cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm.

Para a caracterização da areia foram realizados os seguintes ensaios: granulometria, massa específica, massa unitária e absorção de água.

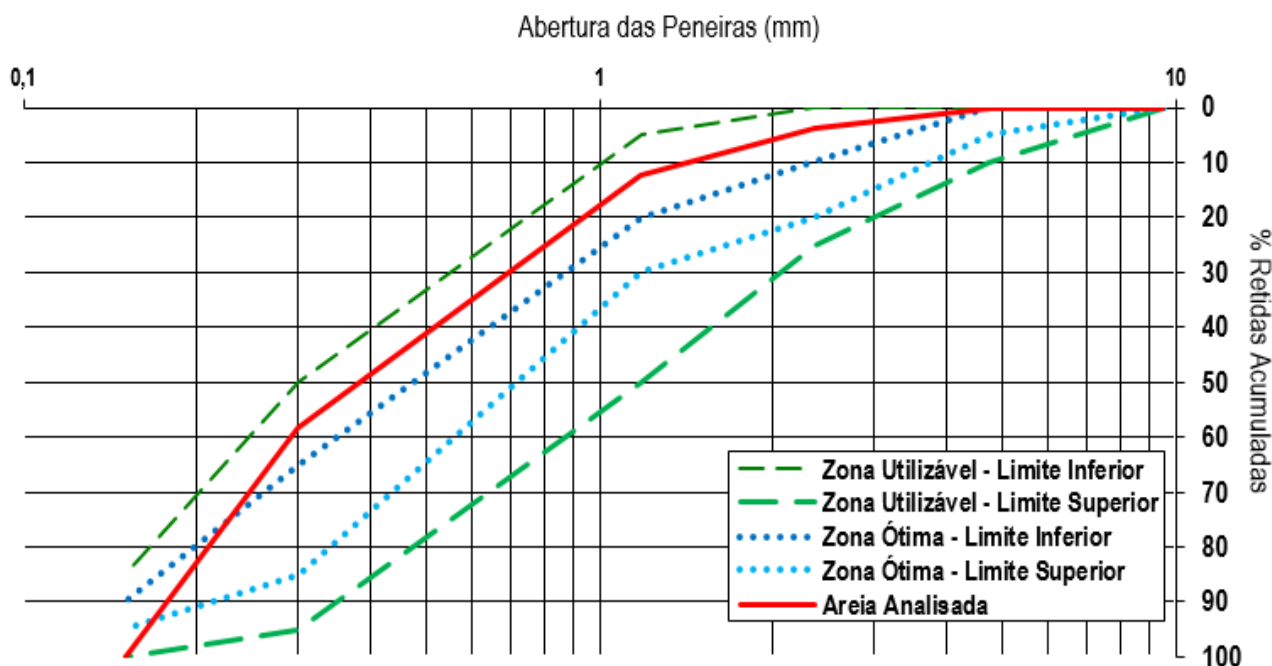
O ensaio de granulometria foi executado conforme o recomendado pela NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica (ABNT, 2003) onde obteve-se os resultados apresentados na **Tabela 2**.

**Tabela 2.** Granulometria da areia

Diâmetro das Peneiras (mm)	Areia Amostra 1 % Retida Acumulada	Areia Amostra 2 % Retida Acumulada	Média da Areia % Retida Acumulada
9,50	0	0	0
4,75	0,0	0,36	0,17
2,36	4,96	2,35	3,69
1,18	15,73	8,62	12,27
0,35	62,05	54,71	58,48
0,15	100,00	100,00	100,00
Fundo	100,00	100,00	100,00

Utilizando a porcentagem retida acumulada da média da areia foi possível determinar o seu módulo de finura como 1,75, sendo considerado pela NBR 7211 (ABNT, 2009) como dentro da zona utilizável, já que possui um módulo de finura compreendido entre 1,55 e 2,20, e o diâmetro máximo do agregado como 2,36 mm. Pela curva granulométrica obtida, **Figura 14**, é possível observar que essa areia possui granulação contínua, sendo bem graduada.



**Figura 14.** Granulometria da areia

Para o ensaio da massa específica seguiu-se a NBR NM 52: Agregado Miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente (ABNT, 2009) com resultados obtidos apresentados na **Tabela 3**.

**Tabela 3.** Massa específica da areia

<b>Massa específica aparente do agregado seco</b>	2,45 g/cm <sup>3</sup>
<b>Massa específica do agregado saturado superfície seca</b>	3,37 g/cm <sup>3</sup>

A massa unitária foi determinada segundo o indicado pela NBR NM 45: Agregados - Determinação da massa unitária e volume de vazios (ABNT, 2006) e a obtenção da absorção de água da areia se deu seguindo o descrito na NBR NM 30 (ABNT, 2000). Ambos os ensaios tem seus resultados expressos na **Tabela 4**.

**Tabela 4.** Massa unitária e absorção de água da areia

<b>Massa unitária da areia</b>	1123 kg/m <sup>3</sup> 1,123 kg/dm <sup>3</sup> 1,123 g/cm <sup>3</sup>
<b>Absorção de Água</b>	6,17%

#### 4.1.4 Brita

Segundo a NBR 7211 (ABNT, 2009), são considerados agregados graúdos aqueles cujos grãos passam pela abertura da peneira de 75 mm e ficam retidos na peneira de malha 4,75 mm.

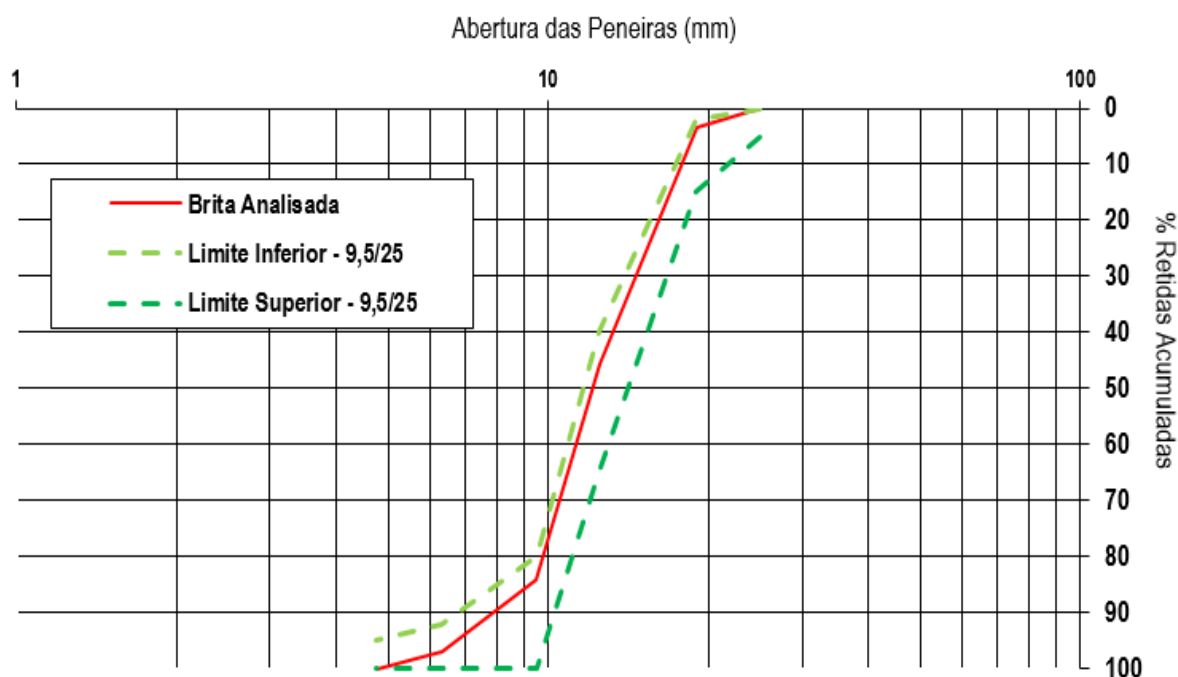
Para a caracterização da brita foram realizados os seguintes ensaios: granulometria, massa específica, absorção de água e massa unitária.

O ensaio de granulometria foi executado segundo a NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica (ABNT, 2003), com resultados expressos na **Tabela 5**.

**Tabela 5.** Granulometria da brita

<b>Diâmetro das Peneiras (mm)</b>	<b>Brita Amostra 1 % Retida Acumulada</b>	<b>Brita Amostra 2 % Retida Acumulada</b>	<b>Média da Brita % Retida Acumulada</b>
25	0,0	0,00	0,00
19	2,95	4,22	3,57
12,5	45,16	46,45	45,79
9,5	83,53	84,77	84,14
6,3	96,44	97,40	96,91
4,75	100	100	100
Fundo	100	100	100

O módulo de finura encontrado para a brita foi de 6,85, apresentando uma granulometria dentro dos limites da zona utilizável recomendada pela NBR 7211 (ABNT, 2009) com diâmetro máximo de 19 mm, podendo ser observada a curva granulométrica da brita na **Figura 15**.

**Figura 15.** Granulometria da brita

Para a massa específica e absorção de água, seguiu-se o indicado na NBR NM 53: Agregado Graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água (ABNT, 2003).

Os resultados expressos na **Tabela 6** apresentam a massa específica e absorção de água da brita

**Tabela 6.** Massa específica e absorção de água da brita

<b>Massa específica do agregado seco</b>	2,52 g/cm <sup>3</sup>
<b>Massa específica do agregado na condição saturado superfície seca</b>	2,54 g/cm <sup>3</sup>
<b>Massa específica aparente</b>	2,57 g/cm <sup>3</sup>
<b>Absorção de água</b>	0,82%

A massa unitária foi obtida segundo o indicado na NBR NM 45: Agregados - Determinação da massa unitária e volume de vazios (ABNT, 2006), com valores expressos na **Tabela 7**.

**Tabela 7.** Massa unitária da brita

	1245 kg/m <sup>3</sup>
<b>Massa unitária da brita</b>	1,245 kg/dm <sup>3</sup>
	1,245 g/cm <sup>3</sup>

## 4.2 Argamassas

### 4.2.1 Produção das Argamassas

Para a fabricação das argamassas seguiu-se o recomendado pela NBR 13276: Argamassa para Assentamento e Revestimento de Paredes e Tetos - Preparo da Mistura e Determinação do Índice de Consistência (ABNT, 2016), com as águas submetidas a tempos de exposição ao campo magnético fixo de 1h, 2h, 4h e 8h, bem como a produção de uma argamassa com água comum, para isso utilizou-se a argamassadeira e materiais apresentados nas **Figuras 16 e 17** respectivamente.

**Figura 16.** Argamassadeira



**Figura 17.** Materiais utilizados na produção das argamassas



Foi utilizado para essa fabricação de argamassas os valores expressos na **Tabela 8**.

**Tabela 8.** Traço utilizado para a fabricação das argamassas

<b>Traço (cimento: areia)</b>	1:2
<b>Relação a/c</b>	0,6
<b>Cimento</b>	663 kg/m <sup>3</sup>
<b>Areia</b>	1325 kg/m <sup>3</sup>
<b>Água</b>	398 kg/m <sup>3</sup>

Após a produção das argamassas foram realizados os ensaios de índice de consistência e em seguida a moldagem dos corpos de prova, (**Figura 18**), para cura em câmara úmida e posteriormente foram realizados os respectivos ensaios de compressão.

**Figura 18.** Moldagem dos corpos de prova de argamassa



Na **Tabela 9** são apresentados as quantidades de corpos de prova moldados e utilizados para cada ensaio.

**Tabela 9.** Quantidade de corpos de prova de argamassa

Argamassa	Quantidade de CP's por Ensaio		Total
	Resistência à Compressão		
	7 dias	28 dias	
Água Comum	5	5	10
Água SCM – 1 hora	5	5	10
Água SCM – 2 horas	5	5	10
Água SCM – 4 horas	5	5	10
Água SCM – 8 horas	5	5	10

#### 4.2.2 Ensaio de Índice de Consistência

A determinação do índice de consistência ocorreu conforme o recomendado pela NBR 13276 (ABNT, 2016), utilizando o molde de tronco de cone sobre a mesa de consistência, e realizando o seu preenchimento através de três camadas aplicando 15, 10 e 5 golpes com o



soquete respectivamente, em seguida acionou-se a manivela da mesa fazendo com que ela suba e caia 30 vezes em 30 s. Com o paquímetro foi realizada as três medidas do diâmetro em pontos distintos, conforme **Figura 19**.

**Figura 19.** Ensaio de determinação do índice de consistência da argamassa



#### 4.2.3 Ensaio de Resistência à Compressão

O ensaio de resistência a compressão da argamassa seguiu o procedimento também recomendado para o concreto, segundo a NBR 5739 (ABNT, 2007). Os rompimentos ocorreram aos 7 e 28 dias após a moldagem dos corpos de prova, respeitando as tolerâncias de tempo apresentadas na norma.

### 4.3 Concretos

#### 4.3.1 Dosagem dos Concretos

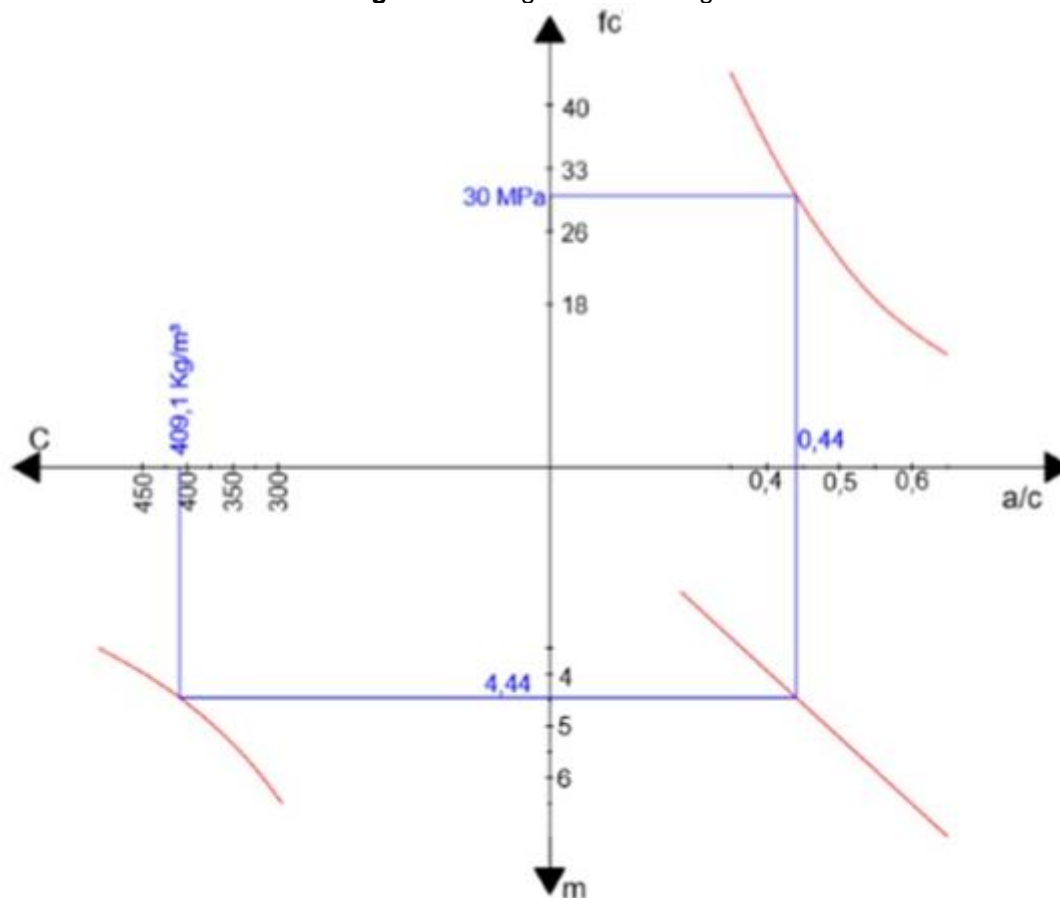
Para a dosagem dos concretos utilizou-se o método do IPT/EPUSP explicitado por Helene e Terzian (1992), o qual permite a determinação de um diagrama de dosagem formado por três curvas: Curva de Abrams, correspondente a relação entre o fator água/cimento ( $a/c$ ) com a resistência do concreto ( $f_{ck}$ ); a Curva de Lyse, entre a relação água/cimento ( $a/c$ ) e o teor de argamassa ( $m$ ); e a Curva de Molinari relacionando o teor de argamassa ( $m$ ) com o

consumo de cimento (C). Uma das vantagens desse método é que não requer o conhecimento prévio dos agregados que serão utilizados.

O método do IPT que será utilizado nesse trabalho já foi previamente estudado, onde definiu-se os parâmetros iniciais tais como, abatimento de 80 mm e resistência média ( $f_c$ ) de 30 MPa. Nele é determinada de forma experimental o teor de argamassa ( $\alpha$ ) e a relação água/materiais secos (H). Fixando-se ( $\alpha$ ) inicialmente em 35% foram calculados os traços para vários teores de argamassa, e estimando (H) para o traço 1:5 (1:m). Conforme recomendado pelo método também foram realizados mais dois traços: 1:4, traço rico; e 1:6, traço pobre.

Após definido o teor de argamassa, é determinada a relação entre agregado miúdo por cimento e a relação em massa de água por massa seca. Procede-se então à produção do concreto para os três traços iniciais de 1:4, 1:5 e 1:6, sendo moldados corpos de prova com rompimento aos 7 dias. Após os ensaios de resistência à compressão aos 7 dias são obtidas as três curvas (Abrams, Lyse e Molinari), sendo possível a geração do diagrama de dosagem, (Figura 20).

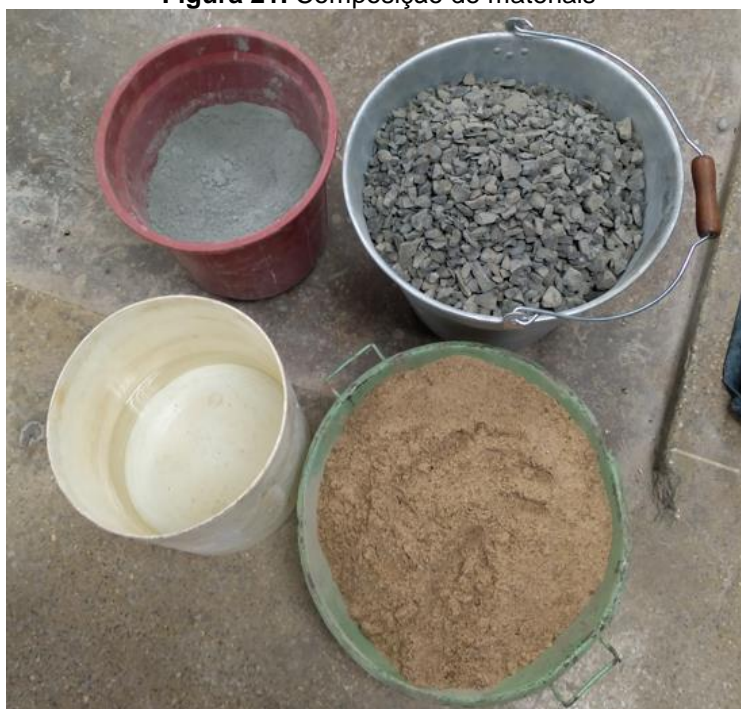
Figura 20. Diagrama de dosagem



Assim, para uma resistência de 30 MPa e abatimento de 80 mm, a produção de concreto com água normal e submetida a campo magnético foi realizada com um traço de 1:5 (cimento: agregados) e relação a/c de 0,44, com um consumo de cimento de 409,1 kg/m<sup>3</sup> para esse traço.

Depois de definido o teor de argamassa em 41% e realizada as correções devido a umidade da areia obteve-se as composições, (**Figura 21**), de materiais utilizados nas produções de todos os concretos, aqueles com água SCM e os com água comum, com valores apresentados na **Tabela 10**.

**Figura 21.** Composição de materiais



**Tabela 10.** Composição dos materiais

Relação a/c	0,44
Água	180 kg/m <sup>3</sup>
Cimento	409 kg/m <sup>3</sup>
Areia	615 kg/m <sup>3</sup>
Brita	1450 kg/m <sup>3</sup>

Após a produção dos concretos, foi realizada a moldagem dos corpos de prova conforme indicado na NBR 5738: Concreto - Procedimento para Moldagem e Cura dos Corpos de Prova (ABNT, 2015). Foram moldados corpos de prova cilíndricos de 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura (**Figura 22**).



**Figura 22.** Moldagem dos corpos de prova

O método de adensamento foi definido segundo o abatimento, seguindo os critérios da NBR 5738 (ABNT, 2015). O adensamento manual foi realizado com haste de ferro e o mecânico com vibrador, em ambos os casos ao realizar o adensamento de uma camada evitou-se penetrar na camada anterior. Após o preenchimento total do molde, realizou-se o rasamento com uma colher de pedreiro adequada e após o endurecimento do concreto os corpos de prova foram retirados do molde e encaminhados para a cura (**Figura 23**). A cura se realizou em câmara úmida, equipada com dispositivos que produzem a liberação de água sobre os corpos de prova a intervalos constantes (**Figura 24**).

**Figura 23.** Corpos de prova depois de desmoldados

**Figura 24.** Câmara úmida para cura dos corpos de prova



Fonte: SACHT, (2016).

Na **Tabela 11** são apresentadas as quantidades de corpos de prova moldados e utilizados para cada ensaio.

**Tabela 11.** Quantidade de corpos de prova de concreto

Concreto	Quantidade de CP's por Ensaio					Total
	Resistência à Compressão		Resistência à Tração		Massa Específica	
	7 dias	28 dias	7 dias	28 dias		
Água Comum	3	3	2	2	1	11
Água SCM – 1 hora	3	3	2	2	1	11
Água SCM – 2 horas	3	3	2	2	1	11
Água SCM – 4 horas	3	3	2	2	1	11
Água SCM – 8 horas	3	3	2	2	1	11

#### 4.3.2 Ensaio de Consistência (Slump Test)

Para determinação da consistência do concreto fresco, utilizou-se o ensaio regulamentado pela NBR NM 67: Concreto - Determinação da Consistência pelo Abatimento do Tronco de Cone (ABNT, 1998), realizado antes da moldagem dos corpos de prova.

#### **4.3.3 Ensaio de Resistência à Compressão**

Os ensaios de resistência à compressão foram realizado seguindo as recomendações indicadas na NBR 5739: Concreto - Ensaio de Compressão de corpos de prova cilíndricos (ABNT, 2007).

Os rompimentos ocorreram aos 7 e 28 dias após a moldagem dos corpos de prova, sendo realizado o nivelamento das faces antes dos rompimentos e respeitando as tolerâncias de tempo apresentadas na norma.

#### **4.3.4 Ensaio de Resistência à Tração (Compressão Diametral)**

Para o ensaio de resistência a tração, seguiu-se o recomendado na NBR 7222: Argamassa e Concreto - Determinação da Resistência à Tração por Compressão Diametral de corpos de prova cilíndricos (ABNT, 2011).

#### **4.3.5 Massa Específica dos Corpos de Prova**

Também foram determinadas as massas específicas dos corpos de prova de concreto para verificar se houve mudanças significativas entre aqueles com água comum e os produzidos com água submetida a campo magnético.

Para isso seguiu o recomendado na NBR 9778: Argamassa e Concreto Endurecidos - Determinação da Absorção de Água por Imersão – Índice de Vazios e Massa Específica (ABNT, 1987).

### **4.4 Resumo dos Ensaio Realizados**

Na **Tabela 12** são apresentados todos os ensaios realizados durante a execução desse trabalho.

**Tabela 12.** Resumo dos ensaios realizados

Ensaio	Materiais			
	Areia	Brita	Argamassa	Concreto
Granulometria	X	X		
Massa Específica	X	X		
Massa Unitária	X	X		
Absorção de Água	X	X		
Índice de Consistência			X	
Abatimento ( <i>Slump Test</i> )				X
Resistência à Compressão			X	X
Resistência à Tração				X
Massa Específica				X

## 5. RESULTADOS

Uma vez executada a metodologia proposta no capítulo 4, serão apresentados neste capítulo os resultados correspondentes aos ensaios realizados a fim de comprovar a conjectura inicialmente proposta, ou seja, a melhoria em termos de resistência e trabalhabilidade decorrente da utilização da água SCM na preparação do concreto através da análise e interpretação dos dados obtidos.

De forma a contemplar os objetivos definidos anteriormente, primeiramente são apresentados os resultados correspondentes a caracterização dos materiais, areia e brita, sendo eles granulometria, massa específica, massa unitária e absorção de água.

Posteriormente são exibidos os resultados relacionados aos ensaios efetuados após a preparação das misturas de argamassas e concretos, sendo eles: índice de consistência, abatimento do tronco de cone, resistências à compressão e tração e massa específica.

### 5.1 Ensaio na Argamassa

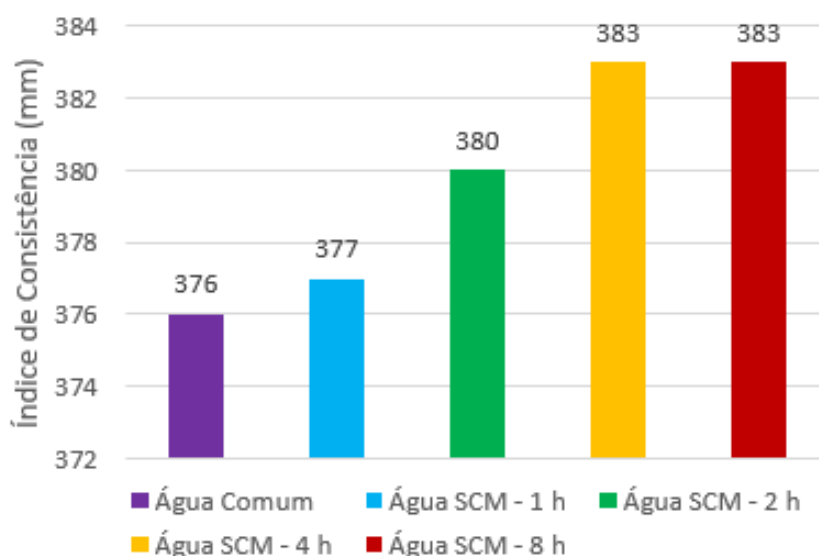
#### 5.1.1 Índice de Consistência

O ensaio de índice de consistência, foi efetuado para as cinco argamassas produzidas, com valores obtidos apresentados na **Tabela 13** e **Figura 25**.

**Tabela 13.** Resultados do ensaio de índice de consistência das argamassas

Argamassa	Índice de Consistência (mm)
Água Comum	376
Água SCM – 1 hora	377
Água SCM – 2 horas	380
Água SCM – 4 horas	383
Água SCM – 8 horas	383

**Figura 25.** Índice de consistência das argamassas



Observa-se pela **Tabela 13** e **Figura 25** que houve um aumento no índice de consistência das argamassas produzidas com água submetida à campo magnético em relação à aquela produzida com água comum, sendo esse aumento da ordem de 2% entre os valores extremos, porém não se pode afirmar que essa diferença seja ocasionada pela utilização da água SCM.

Também percebe-se que não houve variação entre os índices de consistência obtidos para as água expostas à tempos de 4 e 8 horas ao campo magnético fixo, de forma que não apresenta-se um aumento em termos de fluidez para tempos de exposição superiores a 4 horas.

### 5.1.2 Resistência à Compressão

Os ensaios de resistência à compressão nas argamassas foram realizados aos 7 e 28 dias após a sua produção, conforme os procedimentos recomendados. Os valores de resistência média e coeficientes de variação encontrados aos 7 dias estão expostos na **Tabela 14**.

**Tabela 14.** Resistência à compressão média das argamassas aos 7 dias

Argamassa	Resistência à Compressão (MPa)	Coefficiente de Variação
Água Comum	24,9	0,06
Água SCM – 1 hora	25,7	0,06
Água SCM – 2 horas	25,7	0,05
Água SCM – 4 horas	26,2	0,11
Água SCM – 8 horas	27,3	0,06

Nota-se que as argamassas produzidas com água SCM apresentaram uma melhora em relação à aquela produzida com água comum, da ordem de 10% entre os valores extremos aos 7 dias.

Na **Tabela 15** apresenta-se os valores de resistência a compressão e coeficientes de variação obtidos para os rompimentos aos 28 dias.

**Tabela 15.** Resistência à compressão média das argamassas aos 28 dias

Argamassa	Resistência à Compressão (MPa)	Coefficiente de Variação
Água Comum	33,6	0,07
Água SCM – 1 hora	33,1	0,06
Água SCM – 2 horas	36,0	0,01
Água SCM – 4 horas	36,9	0,04
Água SCM – 8 horas	37,6	0,02

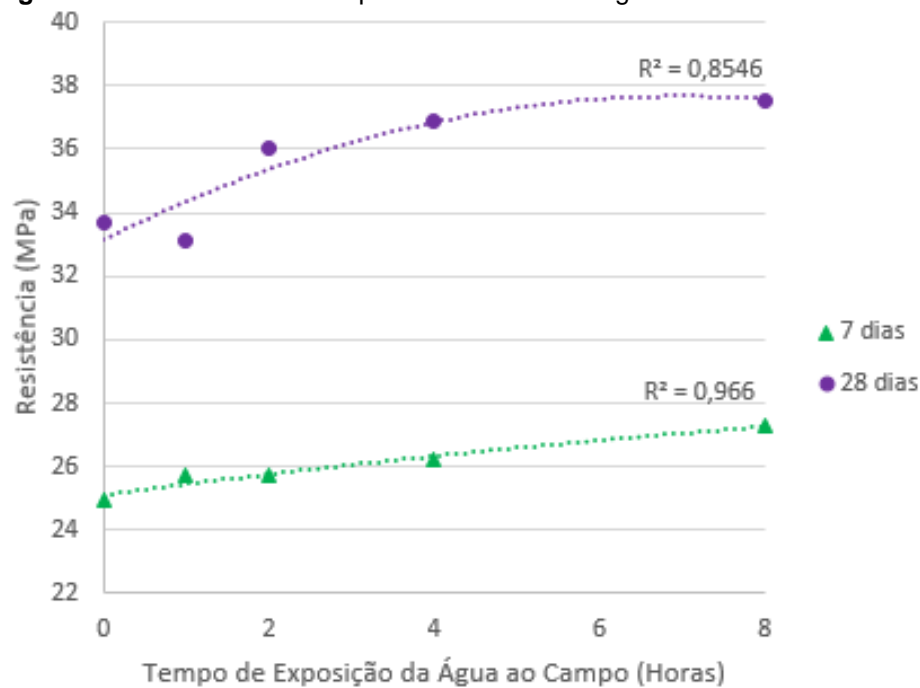
É possível perceber pela **Tabela 15** o aumento na resistência à compressão das argamassas produzidas com água SCM submetidas a tempos de exposição de 2 h, 4 h e 8h em relação à aquela produzida com água comum, sendo o aumento novamente da ordem de 10% entre os valores extremos.

Nota-se também que não houve melhoria para a resistência da argamassa produzida com água SCM exposta a 1 h para esse campo e velocidade em relação à aquela produzida com água comum. Acredita-se que isso ocorre devido ao seu baixo tempo de exposição ao campo magnético.

Outra observação que pode ser feita é que as argamassas com água SCM de 2 h, 4 h e 8 h, apresentaram valores de resistência a compressão muito próximos, não havendo aumentos significativos entre eles.

Na **Figura 26** está expresso o gráfico obtido para as resistências a compressão das argamassas aos 7 e 28 dias.

**Figura 26.** Resistências à compressão média das argamassas aos 7 e 28 dias



## 5.2 Ensaio no Concreto

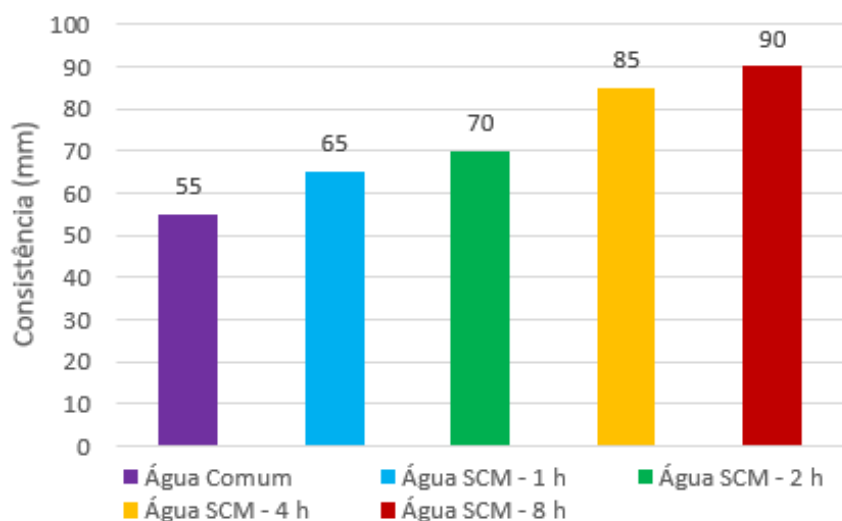
### 5.2.1 Consistência (Slump Test)

O ensaio de consistência, ou abatimento de tronco de cone foi realizado para os cinco concretos produzidos, com valores obtidos apresentados na **Tabela 16** e **Figura 27**.

**Tabela 16.** Resultados do ensaio de consistência do concreto

Concreto	Abatimento de Tronco de Cone (mm)
Água Comum	55
Água SCM – 1 hora	65
Água SCM – 2 horas	70
Água SCM – 4 horas	85
Água SCM – 8 horas	90



**Figura 27.** Consistência (*Slump Test*) do concreto

Com os valores de abatimento de tronco de cone encontrados foi possível observar que a utilização da água submetida a campo magnético proporcionou um aumento na fluidez do concreto em relação à aquele produzido com água comum, onde a variação da consistência entre o concreto produzido com água comum e aquele produzido com água SCM de 8 h foi de cerca de 60%.

Observa-se também que quanto maior o tempo de exposição da água ao campo magnético maiores são os valores de abatimento encontrados, onde a maior diferença obtida, de 15 mm, ocorreu entre 2 h e 4h de exposição.

### 5.2.2 Resistência à Compressão

Os ensaios de resistência à compressão foram realizados aos 7 e 28 dias de cura dos concretos em câmara úmida, conforme os procedimentos recomendados. Os valores de resistência e coeficientes de variação encontrados aos 7 dias estão expostos na **Tabela 17**.

**Tabela 17.** Resistência à compressão média dos concretos aos 7 dias

Concreto	Resistência à Compressão (MPa)	Coeficiente de Variação
Água Comum	26,6	0,06
Água SCM – 1 hora	29,1	0,03
Água SCM – 2 horas	29,5	0,07
Água SCM – 4 horas	33,6	0,10
Água SCM – 8 horas	33,6	0,04

Observa-se uma efetiva melhora nas resistências à compressão aos 7 dias dos concretos com água SCM em comparação com aquele produzido com água comum, confirmado o exposto por diversos autores que realizaram suas pesquisas nessa área.

Nota-se também que a diferença encontrada entre as resistências de 4 horas e 8 horas de exposição foi muito baixa, não havendo benefícios significativos em submeter a água a tempos de exposição superiores à 4 horas.

Os resultados obtidos aos 28 dias estão expressos na **Tabela 18**.

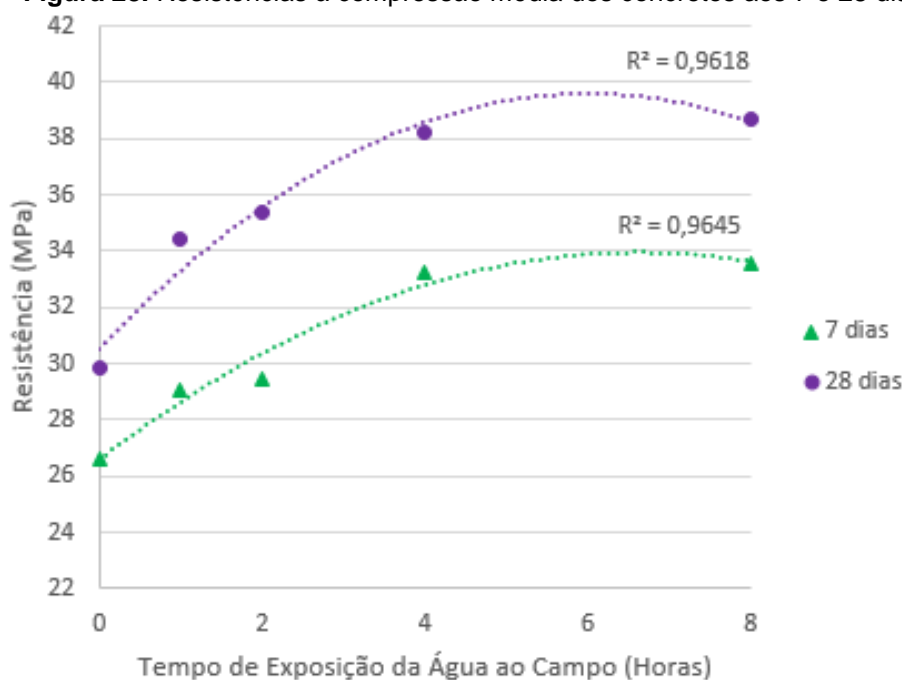
**Tabela 18.** Resistência à compressão média dos concretos aos 28 dias

Concreto	Resistência à Compressão (MPa)	Coeficiente de Variação
Água Comum	29,8	0,07
Água SCM – 1 hora	34,4	0,03
Água SCM – 2 horas	35,3	0,04
Água SCM – 4 horas	38,2	0,06
Água SCM – 8 horas	38,7	0,06

Nota-se novamente o aumento na resistência à compressão dos concretos preparados com água SCM em relação à aquele preparado com água comum. Sendo o aumento superior a 25% entre os valores para 8 horas e para água comum.

Percebe-se também a baixa variação encontrada entre as resistências para os concretos produzidos com água SCM de 4 h e 8 h, confirmando o já observado para as resistências aos 7 dias, em que a utilização de águas com tempos de exposição ao campo magnético superiores à 4 horas para a produção de concreto não apresenta vantagens significativas na melhoria da resistência à compressão dos mesmos.

Na **Figura 28** pode-se observar os valores das resistências à compressão aos 7 e 28 dias para os diferentes tipos de concreto.

**Figura 28.** Resistências à compressão média dos concretos aos 7 e 28 dias

### 5.2.3 Resistência à Tração (Compressão Diametral)

Os ensaios de resistência à tração dos concretos também foram realizados aos 7 e 28 dias seguindo o procedimento recomendado pela norma específica.

Na **Tabela 19** são apresentados os valores de resistências e coeficientes de variação encontrados no ensaio aos 7 dias.

**Tabela 19.** Resistência à tração média dos concretos aos 7 dias

Concreto	Resistência à Tração (MPa)	Coeficiente de Variação
Água Comum	3,3	0,21
Água SCM – 1 hora	3,3	0,09
Água SCM – 2 horas	3,6	0,08
Água SCM – 4 horas	3,8	0,29
Água SCM – 8 horas	3,6	0,14

Observa-se que as resistências à tração encontradas aos 7 dias não apresentaram variações significativas entre elas.

Na **Tabela 20** estão expostos os resultados para as resistências à tração e coeficientes de variação obtidos aos 28 dias.

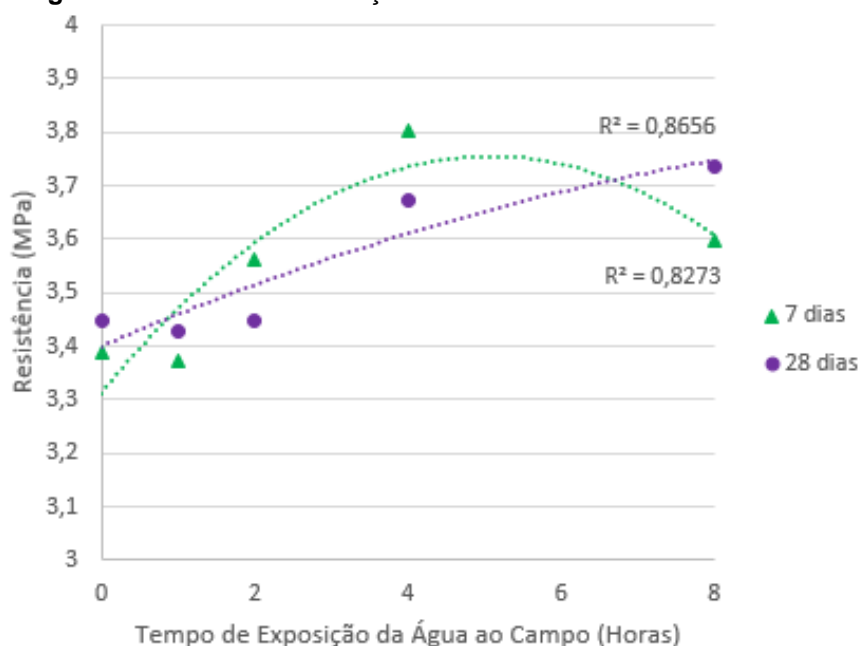
**Tabela 20.** Resistência à tração média dos concretos aos 28 dias

Concreto	Resistência à Tração (MPa)	Coefficiente de Variação
Água Comum	3,4	0,23
Água SCM – 1 hora	3,4	0,03
Água SCM – 2 horas	3,4	0,01
Água SCM – 4 horas	3,7	0,03
Água SCM – 8 horas	3,7	0,01

Aos 28 dias é possível perceber que os resultados para a resistência a tração dos concretos produzidos com água comum e água SCM se estabilizaram como da ordem de 3,50 MPa para todos os casos.

Nota-se que a utilização da água submetida a campo magnético para a produção de concreto não apresenta melhorias consideráveis no que diz respeito a resistência à tração, ao contrário do visualizado no caso das resistências à compressão.

Os valores obtidos nos ensaios de resistência à tração aos 7 e 28 dias são apresentados conjuntamente na **Figura 29**.

**Figura 29.** Resistências à tração média dos concretos aos 7 e 28 dias


#### 5.2.4 Massa Específica dos Corpos de Prova

Os resultados obtidos para os ensaios de massa específica dos corpos de prova são apresentados na **Tabela 21**.

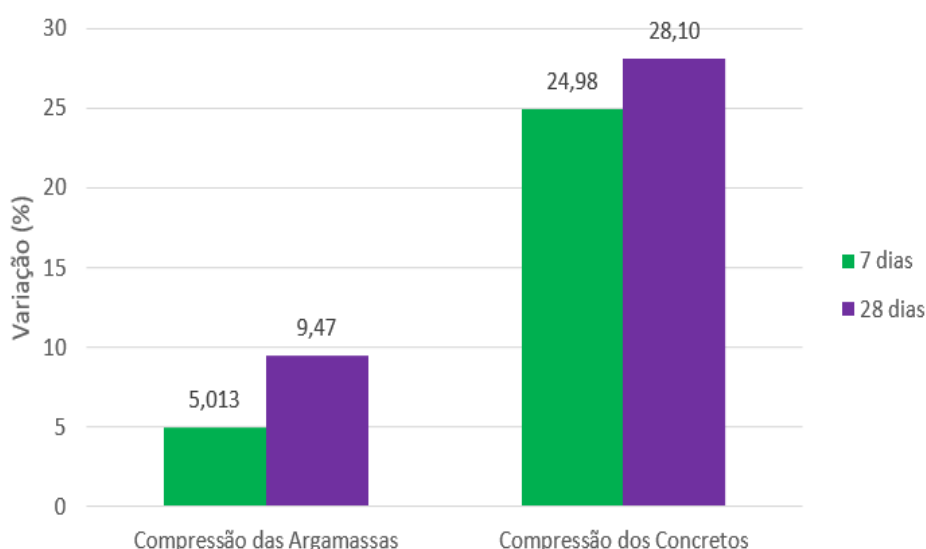
**Tabela 21.** Massa específica dos corpos de prova

Concreto	Massa (g)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )
Água Comum	3740	1552,02	2,41
Água SCM – 1 hora	3720	1564,51	2,38
Água SCM – 2 horas	3720	1535,69	2,42
Água SCM – 4 horas	3660	1'498,62	2,44
Água SCM – 8 horas	3700	1548,85	2,38

No que diz respeito a massa específica observa-se que os valores encontrados para todos os concretos são muito próximos, não havendo visíveis diferenças no uso da água SCM para a fabricação do concreto nesse quesito.

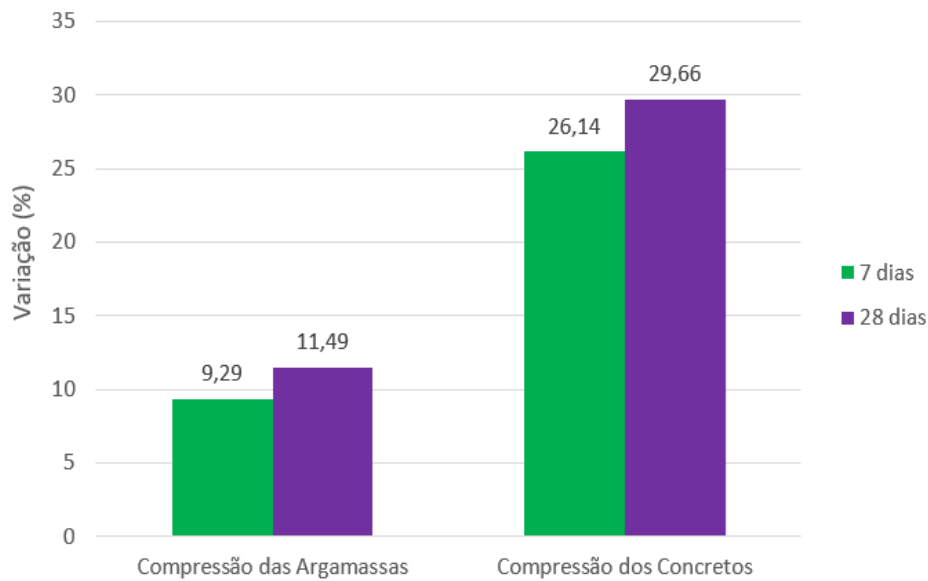
## 5.4 Síntese dos Resultados

Na **Figura 30** observa-se as variações em porcentagem entre os valores obtidos para os ensaios de compressão das argamassas e dos concretos aos 7 e 28 dias comparando a água comum e água SCM de 4 horas.

**Figura 30.** Comparação entre resultados dos ensaios de compressão das argamassas e concretos com água comum e água SCM de 4 horas

A variação dos valores obtidos para os ensaios de compressão das argamassas e dos concretos aos 7 e 28 dias comparando a água comum e água SCM de 8 horas pode ser observada na **Figura 31**.

**Figura 31.** Comparação entre os resultados dos ensaios de compressão das argamassas e concretos com água comum e água SCM de 8 horas



Através da análise dos gráficos nota-se efetivamente que os acréscimos nas resistências à compressão comparando os concretos produzidos com água comum e água SCM de 4 e 8 horas são muito próximas.

Na análise das resistências à compressão das argamassas percebe-se que em ambas as idades, 7 e 28 dias, o maior acréscimo ocorreu quando comparada as argamassas produzidas com água comum e com água SCM de 8 horas.

## 6. CONCLUSÕES

Ao se produzirem os concretos com água submetida à diferentes tempos de exposição ao campo magnético, tornou-se possível a análise de sua influência em algumas de suas propriedades quando comparados ao concreto produzido com água comum, cumprindo assim com o objetivo inicialmente proposto.

A utilização da água SCM na fabricação de concreto se mostrou satisfatória nos aspectos de melhoria das resistências à compressão além de um aumento na trabalhabilidade desse concreto, proporcionando uma maior fluidez sem a necessidade do aumento da quantidade de água utilizada em sua fabricação.

As melhorias para os concretos com água SCM em relação ao concreto com água comum foram superiores a 25% nas resistências à compressão e no caso das argamassas de cerca de 10% em suas resistências à compressão. Para o caso das resistências à tração dos concretos necessita-se de estudos mais aprofundados de forma a comprovar a influência da água SCM. Já em relação as massas específicas não foram observadas diferenças notáveis entre os diversos tipos de concretos, não havendo influência da utilização da água SCM nessa propriedade.

No que concerne a trabalhabilidade, houve um aumento da ordem de 60% na fluidez do concreto com água SCM, tornando-se um ponto positivo em casos onde seja necessário a utilização de concretos mais fluidos e trabalháveis.

Destaca-se ainda que os resultados para as águas SCM de 4 h e 8 h apresentaram variações pequenas quando comparados entre si, podendo-se afirmar assim, que dentre os tempos utilizados neste trabalho, o tempo ótimo de exposição da água ao campo magnético foi de 4 horas, não sendo observados benefícios significativos em submeter a água a tempos de exposição superiores a esse.

Afirma-se também que o desenvolvimento desse trabalho se tornou possível devido a disponibilidade do eletroímã junto a universidade. Para a aplicação de semelhante procedimento na indústria da construção civil deve-se analisar as vantagens e desvantagens de utilização de um processo similar, principalmente em locais com maior controle da produção do concreto, como centrais dosadoras e indústrias de pré-fabricados.

Sendo assim, conclui-se que os resultados obtidos com as análises dos concretos produzidos se mostraram satisfatórios para a utilização da água SCM na fabricação do concreto, porém recomenda-se para estudos futuros análises variando-se os tipos de cimento, relações água/cimento e traços, além de outras maneiras de obtenção e aplicação de campos magnéticos com maiores intensidades de forma a corroborar com as informações aqui obtidas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMED, S. M. Effect of Magnetic Water on Engineering Properties of Concrete. **Journal of Al-Rafidain Engineering**, v. 7, n. 1, p. 71-82, 2009. Disponível em: [http://permagconditioner.com/doc/Concrete\\_magnetic\\_water\\_3.pdf](http://permagconditioner.com/doc/Concrete_magnetic_water_3.pdf) Acesso em 05 jul. 2017.

ALVES, W. N.; SANTO, E. I. E. Estudo de Água Magnetizada na Produção de Concreto. **Relatório Parcial**. Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, 2015. Disponível em: [http://media.wix.com/ugd/18c67e\\_9a642428fcca4d0391d2055c8c7c623e.pdf](http://media.wix.com/ugd/18c67e_9a642428fcca4d0391d2055c8c7c623e.pdf) Acesso em 05 jul. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 12654**: Controle Tecnológico de Materiais Componentes do Concreto. Rio de Janeiro, 1992.

\_\_\_\_\_. (ABNT). **NBR 13276**: Argamassa para Assentamento e Revestimento de Paredes e Tetos - Preparo da Mistura e Determinação do Índice de Consistência. Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_. (ABNT). **NBR 15900-1**: Água para Amassamento do Concreto, Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. (ABNT). **NBR 5738**: Concreto - Procedimento para Moldagem e Cura dos Corpo de Prova. Rio de Janeiro, 2015.

\_\_\_\_\_. (ABNT). **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de Compressão de Corpos de Prova Cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

\_\_\_\_\_. (ABNT). **NBR 6118**: Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. (ABNT). **NBR 7211**: Agregados para Concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. (ABNT). **NBR 7222**: Argamassa e Concreto - Determinação da Resistência à Tração por Compressão Diametral de Corpos de Prova Cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011.

\_\_\_\_\_. (ABNT). **NBR 9778**: Argamassa e Concreto Endurecidos - Determinação da Absorção de Água por Imersão – Índice de Vazios e Massa Específica. Rio de Janeiro, 1987.

\_\_\_\_\_. (ABNT). **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da Composição Granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.



\_\_\_\_\_. (ABNT). **NBR NM 30**: Agregado Miúdo - Determinação da Absorção de Água. Rio de Janeiro, 2001.

\_\_\_\_\_. (ABNT). **NBR NM 45**: Agregados - Determinação da Massa Unitária e do Volume de Vazios. Rio de Janeiro, 2006.

\_\_\_\_\_. (ABNT). **NBR NM 52**: Agregado Miúdo - Determinação de Massa Específica e Massa Específica Aparente. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. (ABNT). **NBR NM 53**: Agregado Graúdo - Determinação de Massa Específica, Massa Específica Aparente e Absorção de Água. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. (ABNT). **NBR NM 67**: Concreto - Determinação da Consistência pelo Abatimento do Tronco de Cone. Rio de Janeiro, 1998.

AZHARONOK, V. V.; BELOUS, N. K.; RODTSEVICH, S. P.; KOSHEVAR, V. D.; GONCHARIK, S. V.; CHUBRIK, N. I.; ORLOVICH, A. I. High-frequency magnetic-pulse treatment of water as a method of improving the technological properties of fine concretes. **Journal of Engineering Physics and Thermophysics**, v. 82, n. 6, p. 1102-1109, 2009. Disponível em: <http://link.springer.com/article/10.1007/s10891-010-0311-9> Acesso em 05 jul. 2017.

COSTA, D.; SOUZA, L. C.; SILVA, F. H. S. S. Efeitos da Água Tratada Magneticamente em Sementes de Mamona (*Ricinius Commus L.*). In: **VII CONNEPI-Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação**. 2012. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/F\\_Sales/publication/274388557\\_Efeitos\\_da\\_Agua\\_Tratada\\_Magneticamente\\_em\\_Sementes\\_de\\_Mamona\\_Ricinius\\_Communs\\_L/links/551e90340cf29dcabb040758/Efeitos-da-Agua-Tratada-Magneticamente-em-Sementes-de-Mamona-Ricinius-Commus-L.pdf](https://www.researchgate.net/profile/F_Sales/publication/274388557_Efeitos_da_Agua_Tratada_Magneticamente_em_Sementes_de_Mamona_Ricinius_Communs_L/links/551e90340cf29dcabb040758/Efeitos-da-Agua-Tratada-Magneticamente-em-Sementes-de-Mamona-Ricinius-Commus-L.pdf) Acesso em 05 jul. 2017.

GHOLIZADEH, M.; ARABSHAHI, H. The effect of magnetic water on strength parameters of concrete. **Journal of Engineering and Technology Research**, v. 3, n. 3, p. 77-81, mar. 2011. Disponível em: <http://www.academicjournals.org/journal/JETR/article-full-text-pdf/7A8F9A710728> Acesso em 05 jul. 2017.

GOMES, A. M.; SANTANA, R.; SANTANA, L.; GUIMARÃES, C. O. A Utilização da Água Imantada na Produção de Concreto Usinado. In: Simpósio Epusp sobre Estruturas de Concreto, 5, 2003, Belo Horizonte. **Anais...** Minas Gerais: 2003.

GUIMARÃES, C. O. **Avaliação do uso da água Magnetizada na Produção de Concretos em Centrais**. 2006. 191p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil). Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006. Disponível em: [http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/ISMS-726HM4/disserta\\_o\\_cristiano.pdf?sequence=1](http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/ISMS-726HM4/disserta_o_cristiano.pdf?sequence=1) Acesso em 05 jul. 2017.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física - Eletromagnetismo**. v.3. 9.ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Ed., 2012.

HELENE, P.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto**. São Paulo: PINI, 1992.

KARAM, H.; AL-SHAMALI, O. Effect of Using Magnetized Water on Concrete Properties. In: **Third International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies**. 2014. Disponível em: <http://www.claisse.info/2013%20papers/data/e013.pdf> Acesso em 05 jul. 2017.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais**. IBRACON, 2014.

NETO, G. B.; NOGUEIRA, J. R.; PINHEIRO, M. G.; ENGRACIA FILHO, J. R.; COELHO, C. M. M.; SILVA, S. L. Efeito do Tratamento da Água por Campo Magnético sobre os Parâmetros Séricos e Espessura de Gordura Subcutânea. **Boletim de Indústria Animal**, v. 70, n. 2, p. 158-166, 2013. Disponível em: <http://www.iz.sp.gov.br/pdfsbia/1378832910.pdf> Acesso em: Acesso em 05 jul. 2017.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do Concreto**. 2.ed. Porto Alegre: Bookman Editora Ltda, 2010.

REDDY, B. K.; GHORPADE, V. G.; RAO, H. Sudarsana. Influence of Magnetic Water on Strength Properties of Concrete. **Indian Journal of Science and Technology**, v. 7, n. 1, p. 14-18, 2014a. Disponível em: <http://www.indjst.org/index.php/indjst/article/view/46674/37865> Acesso em 05 jul. 2017.

REDDY, B. K.; GHORPADE, V. G.; RAO, H. Sudarsana. Influence of Magnetic Water on Strength Properties of Concrete. **International Journal of Advanced Engineering Research and Studies**, v. 4, n. 1, p. 93-95, 2014b.

SACHT, H. M. **Levantamento Fotográfico dos Laboratórios - ITAIPU**. Maio, 2016.

SANTOS, A. H. A. **Estudo Comparativo das Propriedades Mecânicas dos Concreto Produzido com Água Tratada Magneticamente**. 2006. 137p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas). Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006. Disponível em: [http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/LMCA-75WHNU/estudo\\_comparativo\\_das\\_propriedades\\_mecanicas\\_do\\_concreto\\_pr.pdf?sequence=1](http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/LMCA-75WHNU/estudo_comparativo_das_propriedades_mecanicas_do_concreto_pr.pdf?sequence=1) Acesso em 05 jul. 2017.

SHYNIER, A.; ABED, M.; FOUAD, Z.; KAZIM, A.; ISSE, R.; REHEEM, N.; CHALOOB, A.; MOHAMMAD, H.; JAMAL, N.; JASIM, H.; SADEQ, J.; SALIM, A. Improving Some of Mechanical Properties of Concrete by Magnetic Water Technology. **Ministry of Science and Technology**, 2014. Disponível em: <http://www.jeaconf.org/UploadedFiles/Document/1cbc4687-1f55-43c8-9502-ca6136f05c3e.pdf> Acesso em 05 jul. 2017.

SU, N.; WU, C. F. Effect of magnetic field treated water on mortar and concrete containing fly ash. **Cement and concrete composites**, v. 25, n. 7, p. 681-688, 2003. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958946502000987> Acesso em 05 jul. 2017.

SU, N.; WU, Y. H.; MAR, C. Y. Effect of magnetic water on the engineering properties of concrete containing granulated blast-furnace slag. **Cement and Concrete Research**, v. 30, n. 4, p. 599-605, 2000. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0008884600002155> Acesso em: 05 jul. 2017.